



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

MOŽNOSTI VÝROBY NA OHRAŇOVACÍCH LISECH

PRODUCTION POSSIBILITIES OF PRESS BRAKES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Michal Hrazdíra

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Řiháček, Ph.D.

BRNO 2021

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Michal Hrazdíra**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Jan Řiháček, Ph.D.**
Akademický rok: 2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Možnosti výroby na ohraňovacích lisech

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o literární rešerši, zaměřenou na současný stav poznání v oblasti ohraňovacích lisů, tj. možností ohraňovacích nástrojů a popsání způsobů výroby dílců na ohraňovacích lisech.

Cíle bakalářské práce:

- provedení průzkumu v oblasti výroby dílců na ohraňovacích lisech,
- popis principu ohraňování,
- analýza využitelnosti ohraňovacích lisů ve strojírenské praxi,
- popis nástrojů, používaných v současnosti v ohraňovacích lisech.

Seznam doporučené literatury:

DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007, 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.

HOSFORD, William a Robert CADDELL. Metal forming: mechanics and metallurgy. Cambridge: Cambridge University Press, 2011, 331 s. ISBN 978-1-107-00452-8.

SCHULER GMBH. Metal forming handbook. New York: Springer-Verlag, 1998, 563 s. ISBN 35-40-1185-1.

TSCHATSCH, Heinz. Metal forming practise: processes - machines - tools. New York: Springer-Verlag, 2006. ISBN 978-3-540-33216-9.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

HRAZDÍRA Michal: Možnosti výroby na ohraňovacích lisech.

Bakalářská práce se zabývá možnostmi výroby na ohraňovacích lisech. Jedná se o literární rešerši, u které je cílem práce provést popis principu ohraňování. A také se zaměřuje na běžné i speciální nástroje a jejich využití ve strojírenské praxi. První část práce se zabývá obecnou technologií ohýbání, která pojednává o základních principech a možnostech této metody. Hlavní kapitolou je samotné ohraňování, kde jsou představeny a popsány jednotlivé typy strojů, jejich komponenty, nástroje a upínací systémy. Dále jsou prezentovány moderní nástroje a jejich uplatnění ve strojírenské praxi. Pro ucelení práce je v poslední části nastíněna výroba rozvaděčové skříně na CNC ohraňovacím lisu.

Klíčová slova: ohraňovací lis, ohraňování, nástroj, matrice, lemování

ABSTRACT

HRAZDÍRA Michal: Production possibilities of press brakes.

The bachelor thesis deals with the production possibilities of press brakes. This is a literary research, in which the aim of the work is to describe the principle of bending. It also focuses on common and special tools and their use in engineering practice. The first part of the work is focused on general bending technology, which discusses the basic principles and possibilities of this method. The main chapter is the bending itself, where the individual types of machines, their components, tools and clamping systems are introduced and described. Furthermore, modern tools and their application in engineering practice are presented. In the last part, the production of the switchboard cabinet is presented on a CNC press brake.

Keywords: press brake, bending, tool, dies, folding

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HRAZDÍRA, Michal. *Možnosti výroby na ohraňovacích lisech*. Brno, 2021. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132140>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Jan Řiháček.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V.....dne 20.5.2021

.....
podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval panu Ing. Janu Řiháčkovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce. Rovněž děkuji rodině za podporu v celém období bakalářského studia na vysoké škole.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

	str.
ÚVOD	9
1 TEORIE OHÝBÁNÍ	10
1.1 Průběh napětí	11
1.2 Délka polotovaru.....	12
1.3 Síla a práce	13
1.4 Minimální a maximální poloměr ohybu	14
1.5 Odpružení.....	15
1.6 Technologické požadavky na konstrukci výlisku	16
2 OHRAŇOVÁNÍ	17
2.1 Stroje pro ohraňování.....	17
2.1.1 Ruční ohraňovací lis.....	18
2.1.2 Mechanický ohraňovací lis	18
2.1.3 Hydraulický ohraňovací lis	19
2.2 Konstrukce ohraňovacích lisů	19
2.3 Nástroje.....	21
2.3.1 Upínání nástrojů	22
2.4 Možnosti výroby na ohraňovacích lisech	24
2.4.1 Lemovací nástroje	24
2.4.2 Matrice Roll-bend	25
2.4.3 Uretanové matrice	26
2.4.4 Další speciální nástroje	27
2.5 Doplnkové moduly	28
2.5.1 Laserové odměřování úhlu	28
2.5.2 Mechanické snímání úhlu	29
2.5.3 Bezpečnostní prvky	30
3 VÝROBA VZOROVÉHO VÝLISKU	31
4 ZÁVĚRY	34

Seznam použitých zdrojů

Seznam obrázků

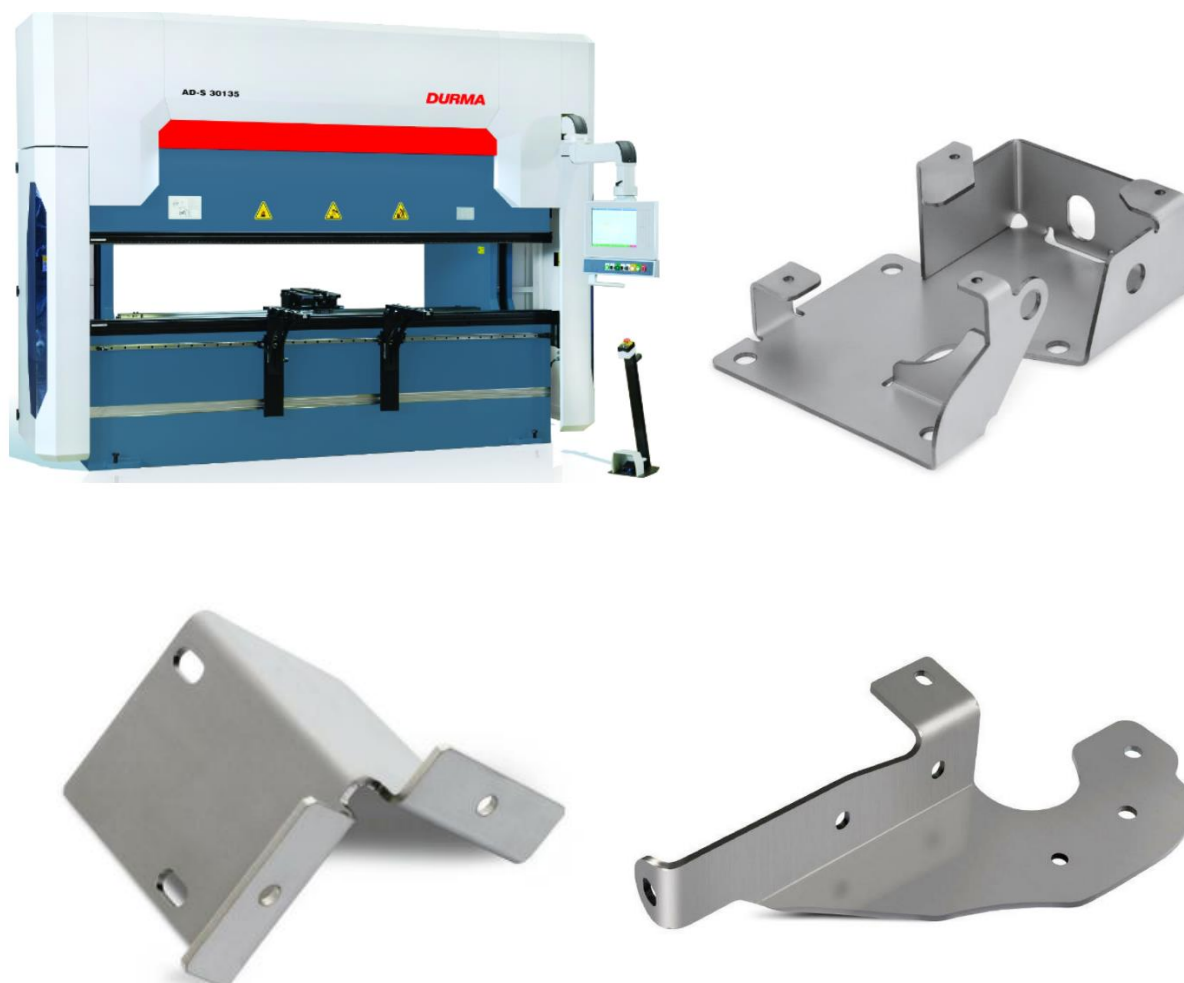
Seznam tabulek

ÚVOD [1], [2], [3]

Ve strojírenství se používá mnoho technologií. Jednou z nich je tváření, které se dělí na dvě samostatné skupiny: objemové a plošné. Mezi těmito skupinami hraje největší roli změna tloušťky materiálu. U plošného tváření ke změně téměř nedochází, a proto se zde nachází technologie ohýbání, která obsahuje několik operací a jednou z nich je technologie ohraňování.

Ohýbání je velmi často používaná technologie ve strojírenství. Touto metodou lze vytvářet velmi složité tvary z plechu, které nelze hospodárně vyrábět jinou technologií. Ohýbání plechových součástí se nejčastěji využívá v malosériové nebo sériové výrobě. V dřívějších dobách byly často využívány ruční ohýbací stroje, které nedosahovaly takových přesností a nebylo na nich možné dosáhnout malých poloměrů ohybu. Byly rozšířené v klempířských a zámečnických dílnách, kde byly nepostradatelné. Ruční stroje se ale nehodily pro velký počet kusů, a proto se v sériové výrobě využívali převážně mechanické, ale i hydraulické lisy, u kterých došlo k zvýšení ohybové síly.

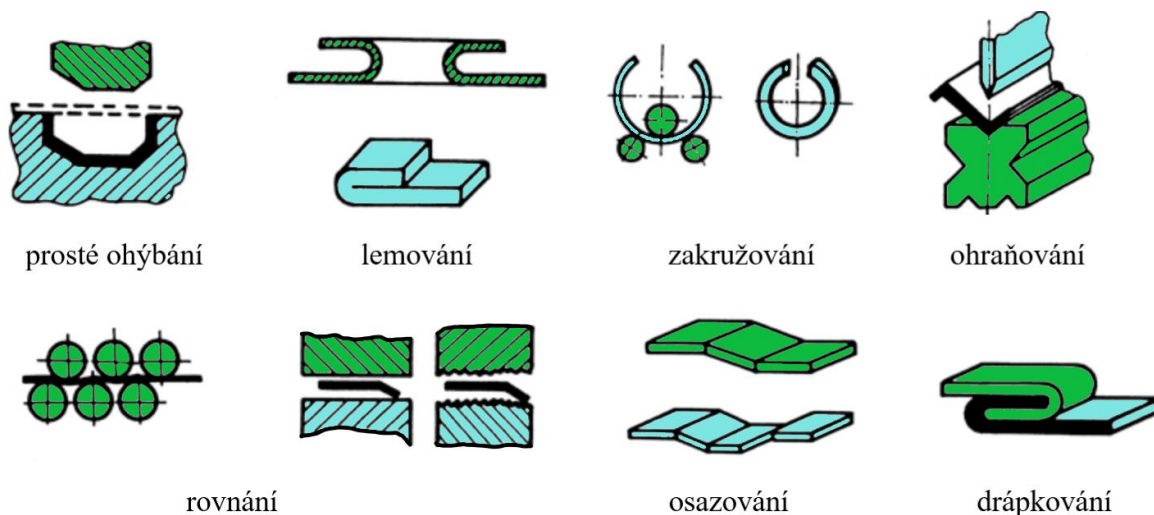
S příchodem automatizace byly stroje nahrazeny novými přesnými CNC (Computer Numeric Control) ohraňovacími lisami, které jsou hojně zastoupeny ve strojírenských firmách. Díky programovatelnosti celého stroje lze dosáhnout vyšších přesností a rychlostí, a tím se zvyšuje celková produktivita, která je v dnešní době velmi důležitá. Na obr. 1 je uveden příklad CNC ohraňovacího lisu s možnými výlisky.



Obr. 1 Ohraňovací lis AD-S a ukázkové ohybky [2], [3]

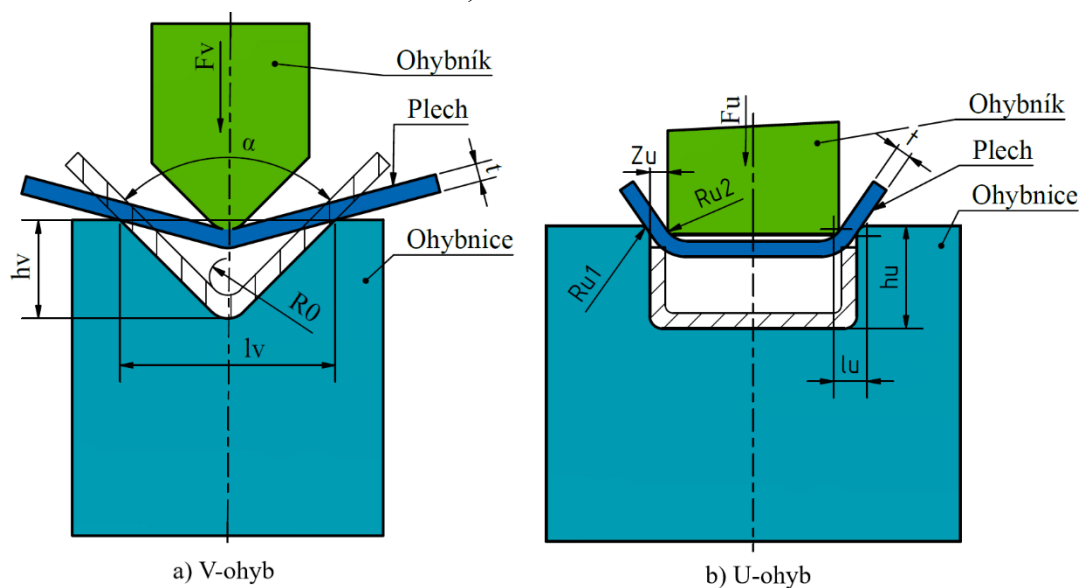
1 TEORIE OHÝBÁNÍ [4], [6], [5]

Ohýbání se řadí k technologiím plošného tváření, ve kterém působením vnějších sil dochází k deformaci výchozího polotovaru na požadovaný tvar, a to bez výrazné změny tloušťky stěny polotovaru. Technologie ohýbání lze rozdělit na následující operace, které jsou vyobrazeny na obr. 2.



Obr. 2 Rozdělení technologie ohýbání [6]

Při ohýbání je vyvíjena síla, která je rovnoměrně rozložena na horní nástroj (ohybík), který začíná vtlačovat polotovar (plech) do spodního nástroje (ohybnice neboli matrice). Tímto procesem dochází ke změně tvaru ohýbaného materiálu, který se podobá tvaru matrice. Rozlišují se dva základní typy ohybu, které se nazývají V-ohyb a U-ohyb. Jednotlivé typy jsou zobrazeny na obr. 3. Výstupem tohoto technologického procesu je výlisek. Mezi polotovary, které se používají pro ohýbání jsou například plechy, dráty, tyče nebo různé profily, které mohou být tvářeny dvěma způsoby, a to zatepla nebo za studena. Ohýbání za studena je nejrozšířenější technologie. Provádí se u polotovarů, které jsou tvárné. Lze je tedy tvářet, bez toho, aniž by na nich vznikaly trhliny nebo dokonce došlo k úplnému porušení výlisku. Druhou technologií je ohýbání za tepla, která se používá u křehkých materiálu. Před tvářením je nutné polotovar zahřát minimálně 50 °C nad křivku Ac3 nebo Ac1, kde se nachází oblast austenitu.

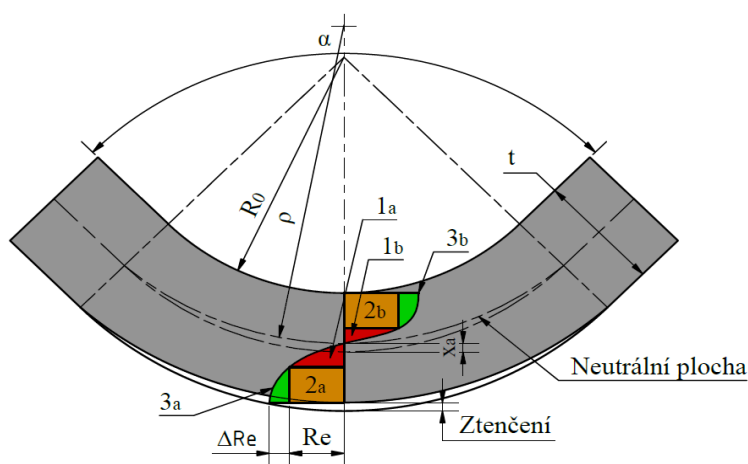


Obr. 3 Základní schémata ohybu [5]

1.1 Průběh napětí [5], [8], [7]

Při začátku zatěžování ohýbaného materiálu se nejprve objeví elastická (pružná) deformace, která vyvolá elastickou složku napětí. Deformace není trvalá a po případném odlehčení, se tvar součásti vrátí do původní podoby. Protože napětí v místě ohybu je menší než mez kluzu materiálu. Po překročení meze kluzu vzniká plastická deformace, která trvale deformuje materiál. Po odlehčení všech vnějších sil zůstává materiál deformovaný. Důležité je nepřekročit mez pevnosti materiálu, protože by se mohly objevit trhliny, které u výlisku nejsou žádoucí. Průběh napětí v místě ohybu je zobrazen na obr. 4.

Při ohýbání vznikají uvnitř ohýbané součásti tahové a tlakové síly. Tlakové síly se nacházejí na vnitřní straně a tahové síly na vnější straně ohybu. Mezi těmito napětími je oblast, která je bez napětí. Vrstva se nazývá neutrální plocha u plochého materiálu a neutrální osa u kruhového materiálu. Při ohýbání velkých poloměrů ohybu ($R_0/t \geq 12$) se osa neposouvá, ale je totožná s osou průřezu. U malých poloměrů ohybu je posunuta blíže k vnitřní straně ohýbané součásti. Velikost posunutí neutrální osy je značeno " x_a ", které je zobrazeno na obr. 4.



- 1a, 1b – oblast pružné deformace
- 2a, 2b – oblast plastické deformace
- 3a, 3b – oblast zpevnění
- α – úhel ohybu
- R_0 – poloměr ohybu
- x_a – vzdálenost neutrální plochy od osy průřezu
- t – tloušťka materiálu
- ρ – poloměr neutrální osy

Obr. 4 Průběh napětí při ohybu [8]

Polohu neutrální plochy nebo osy je důležité znát pro stanovení výchozí délky polotovaru. Osa má při ohýbání neměnnou délku, protože se na ní nenachází žádné napětí, které by ji deformovalo. Důvodem posunu neutrální osy je měnící se poloměr ohybu během ohýbání, platí pouze u malých poloměrů ohybu.

Pro určení poloměru neutrální osy se využívá následujících vztahů a tabulky 1, kde jsou vypsány součinitele posunutí osy pro materiály s mezí pevnosti do 400 MPa, které se dosazují do vzorce (1.2).

Poloměr neutrální osy, kdy ($R_0/t \geq 12$), je stanoven dle vztahu:

$$\rho = \frac{t}{2} \cdot R_0, \quad (1.3)$$

kde: ρ – poloměr neutrální osy [mm],

R_0 – poloměr ohybu [mm],

t – tloušťka polotovaru [mm].

Poloměr neutrální osy, kdy ($R_0/t < 12$), je stanoven dle vztahu:

$$\rho = R_0 + x \cdot t, \quad (1.2)$$

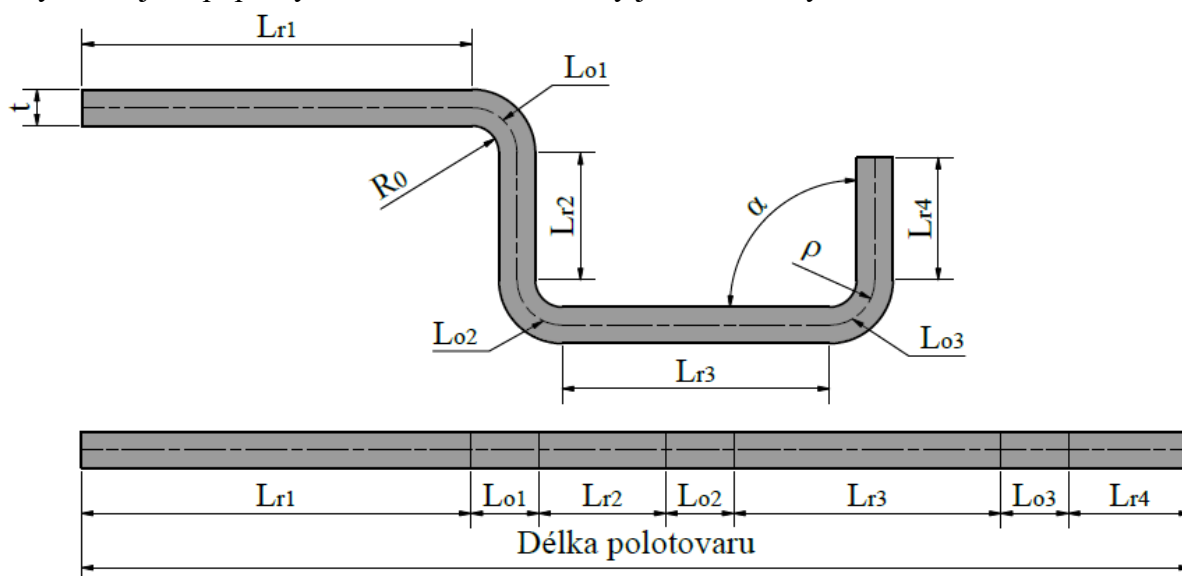
kde: x – Součinitel posunutí neutrální osy, dosazen z tabulky 1 [-].

Tab. 1 Součinitel posunutí osy [5]

$\frac{R_0}{t} [-]$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
x [-]	0,23	0,29	0,32	0,35	0,37	0,38	0,39	0,40
$\frac{R_0}{t} [-]$	1	1,2	1,5	2	3	4	5 ≤	
x [-]	0,41	0,44	0,44	0,45	0,46	0,47	0,50	

1.2 Délka polotovaru [9]

Rozvinutá délka polotovaru je u ohýbaných součástí velmi důležitý parametr. V dnešní době existuje velké množství softwarů, které dokážou rozvinutou délku spočítat. Například 3D CAD (Solidworks, Inventor, atd.) umožní konstruktérovi vygenerovat rozvinutý tvar ohýbané součásti, který se následně dle platné výrobní dokumentace vyrobí. Další možností je použít teoretické vztahy, které jsou popsány níže. Jednotlivé veličiny jsou nastíněny na obr. 5.



Obr. 5 Schéma délky polotovaru

Vzorce pro výpočet délky oblouku:

$$L_o = \frac{\pi}{180} \cdot (180 - \alpha) \cdot \rho, \quad (1.3)$$

kde: L_o – délka oblouku neutrální plochy [mm],

α – úhel ohybu [°],

ρ – poloměr neutrální osy [mm].

Délka rozvinutého tvaru:

$$L_c = \sum_{i=1}^n L_{o_i} + \sum_{j=1}^m L_{r_j}, \quad (1.4)$$

kde: L_r – délka rovné části [mm].

1.3 Síla a práce [9], [10], [11], [12], [13], [14]

Jedněmi ze základních parametrů u ohýbání je ohybová síla a práce. Stanovení těchto dvou parametrů se liší a závisí na tvaru ohybu. Jak již bylo zmíněno, jedná se o V a U ohyb a jejich jednotlivé průběhy jsou znázorněny na obr. 3. Velikost ohybové síly a práce také závisí na tvaru a velikosti ohybnice, na pevnosti materiálu, na tloušťce a délce polotovaru a v poslední řadě na velikosti třecí síly mezi polotovarem a matricí. Třecí síla tvoří asi 20 – 30 % celkové ohybové síly a důležité s ní počítat. Při ohýbání se na nástroj nanáší olej, který alespoň částečně sníží třecí složku síly a zvyšuje trvanlivost nástroje.

Pro zjednodušení výpočtu je ohýbaný polotovar nahrazen nosníkem o dvou podporách, který je zatěžován silou, která se nachází v jeho středu. Při vyjádření síly F ze vzorce pro ohybový moment, dostáváme následující vztah (1.5), který je zvětšen o třecí sílu.

Vztah pro výpočet síly (V-ohyb):

$$F_{ov} = \frac{b \cdot t^2 \cdot R_m \cdot C}{l_v}, \quad (1.5)$$

kde: C – Caliho konstanta, $C = 1,15 - 1,45$ [-],
 l_v – otevření matrice (šířka ohybnice) [mm],
 b – šířka polotovaru [mm],
 R_m – mez pevnosti materiálu [MPa].

Caliho konstanta úměrně zvětšuje ohybovou sílu, z důvodu vyskytující se třecí síly a víceosé napjatosti. Vyšší hodnota C je volena, jestliže je malé otevření matrice. Jedná se tedy o nepřímou úměrnost.

Výpočet ohybové síly dle ČSN 22 73 40 (V-ohyb):

$$F_v = \frac{b \cdot t^2 \cdot R_e}{2 \cdot R_0} \cdot tg \frac{\alpha}{2}, \quad (1.6)$$

kde: R_e – mez kluzu materiálu [MPa].

Při určování potřebné práce stačí spočítat plochu pod křivkou v obr. 6 nebo použít vzorec (1.7).

Vztah pro výpočet práce (V-ohyb):

$$A_v = F_{ov} \cdot hv \cdot k_1, \quad (1.7)$$

kde: hv – dráha ohybníku (V-ohyb), zobrazena na obr. 3 [mm],
 k_1 – koeficient průběhu síly (V-ohyb), ($k_1=1/3$) [-].

Vztah pro výpočet síly (U-ohyb):

$$F_u = \frac{(1 + 7 \cdot f) \cdot (b \cdot t^2 \cdot Re)}{R_0 + t}, \quad (1.8)$$

kde: f – součinitel tření [-].

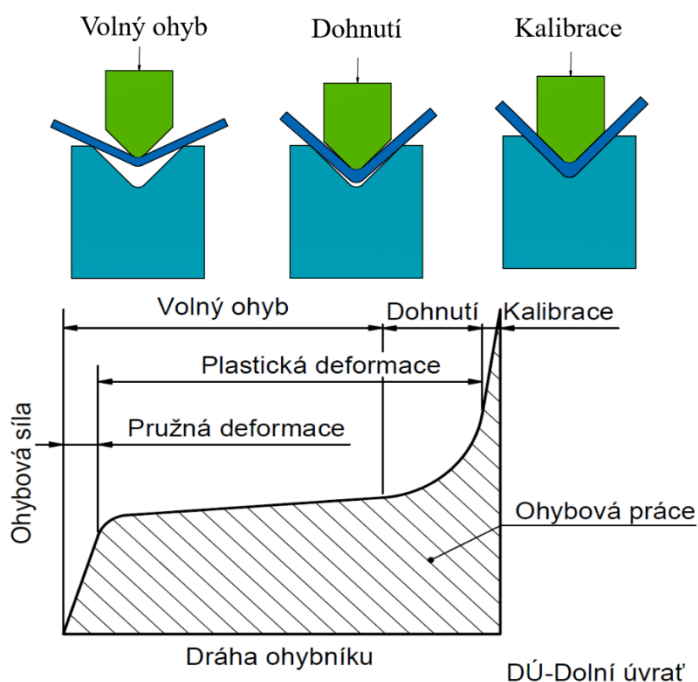
Výpočet práce (U-ohyb):

$$A_u = F_u \cdot h_u \cdot k_2, \quad (1.9)$$

kde: h_u – dráha ohybníku (U-ohyb), zobrazena na obr. 3 [mm],

k_2 – koeficient průběhu síly (U-ohyb), ($k_2=2/3$) [-].

Při samotném ohýbání není ohybová síla konstantní, ale mění se v průběhu procesu. Rozlišují se 3 základní typy: volné ohýbání, dohnutí a kalibraci. Volné ohýbání je rozděleno na dvě části. V první, je síla úměrná dráze ohybníku a nedochází zde k trvalé deformaci. Materiál je deformován elasticky v oboru platnosti „Hooke zákona“. V druhé, došlo k překročení meze kluzu materiálu a vzniká zde plastická deformace, která trvale deformuje polotovaru. U ohybové síly nedochází k výrazné změně velikosti, ale pozvolna narůstá v závislosti na dráze ohybníku. Dalším krokem je dohnutí materiálu, při kterém se ohybová síla postupně začne zvětšovat z důvodu velkého tření mezi maticí a polotovarem. Posledním typem ohýbání, je kalibrace, kde se několikanásobně zvětší ohybová síla, z kterou je potřeba počítat. Literatura uvádí, že při procesu kalibrace se síla „ F_0 “ zdvojnásobí. Tato část procesu nemusí být provedena, slouží ke kalibraci poloměru ohybu a zmenšení odpružení, které může úplně vymizet. Průběh ohybové síly v závislosti na dráze ohybníku je zobrazen na obr. 6.



Obr. 6 Průběh ohybové síly [14]

1.4 Minimální a maximální poloměr ohybu [4]

Minimální poloměr ohybu závisí na plastičnosti použitého materiálu, tloušťce polotovaru, velikosti úhlu ohybu a jeho šířce a na způsobu ohýbání. Důležité je zvolit dostatečně velký poměr ohybu, v praxi se volí o 10 až 20 % větší, než je jeho minimální hodnota, aby se na vnější straně neobjevily trhliny, které znehodnotí samotný výlisek. Také je důležité zvážit odpružení materiálu, které je nežádoucí a zvětšuje se s rostoucím poloměrem ohybu. Z tohoto důvodu je nutné nevolit příliš velký poloměr, ale pohybovat se v již zmíněném rozmezí. Nástřížný plán musí být vhodně zvolen, aby osa ohybu byla umístěna kolmo ke směru vláken. Kdyby byla osa ohybu zvolena rovnoběžně se směrem vláken, bylo by nutné zvětšit poloměr ohybu a tím zabránit vzniku trhlin. Pro určení minimálního poloměru ohybu slouží tabulka nebo výpočet, který je uveden níže.

Vztah pro výpočet minimálního poloměru ohybu:

$$R_{min} = \frac{t \cdot (1 - \varepsilon_c)}{2 \cdot \varepsilon_c}, \quad (1.10)$$

kde: ε_c – mezní prodloužení, odpovídá prodloužení při tahové zkoušce [-].

Maximální poloměr ohybu určuje horní hranici, kdy ještě dojde při ohýbání k trvalé deformaci polotovaru. Při překročení tohoto poloměru nedojde v krajních vrstvách ohýbaného materiálu k plastické deformaci a ohýbaný materiál se po odlehčení vrátí do původní polohy.

Vztah pro výpočet maximálního poloměru ohybu:

$$R_{max} = \frac{t}{2} \cdot \left(\frac{E}{R_e} - 1 \right), \quad (1.11)$$

kde: E – modul pružnosti v tahu [MPa].

1.5 Odpružení [7], [4], [15]

Každá technologie má svá úskalí a odpružení je jednou z nich. Při ohýbání se rozlišují dvě základní složky deformace, které se nazývají elastická a tvárná. Největším problémem je elastická neboli pružná deformace, která se snaží deformovaný materiál částečně vrátit do původní polohy. Tento jev se nazývá odpružení a je závislý na mnoha parametrech, jako například: materiál a tloušťka polotovaru, poloměr a úhel ohybu a typ ohybu (V nebo U-ohyb). Literatura uvádí, že velikost úhlu odpružení “ β ” se nachází v rozmezí od 3° do 15° .

Existují dvě varianty, pomoci, kterých lze zjistit úhel odpružení. První z nich je určit velikost úhlu “ β ” z diagramu. Tato metoda se využívá u velkých poloměrů ohybu, kde platí $R_0/t \geq 20$. Z diagramu je určen koeficient “ k^* ”, který je poměrem α_2/α_1 . Jednotlivé proměnné a tvary odpružení jsou zobrazeny na obr. 7. Druhou metodou je výpočet úhlu odpružení dle ČSN 22 7340.

Vztah pro výpočet odpružení (V-ohyb):

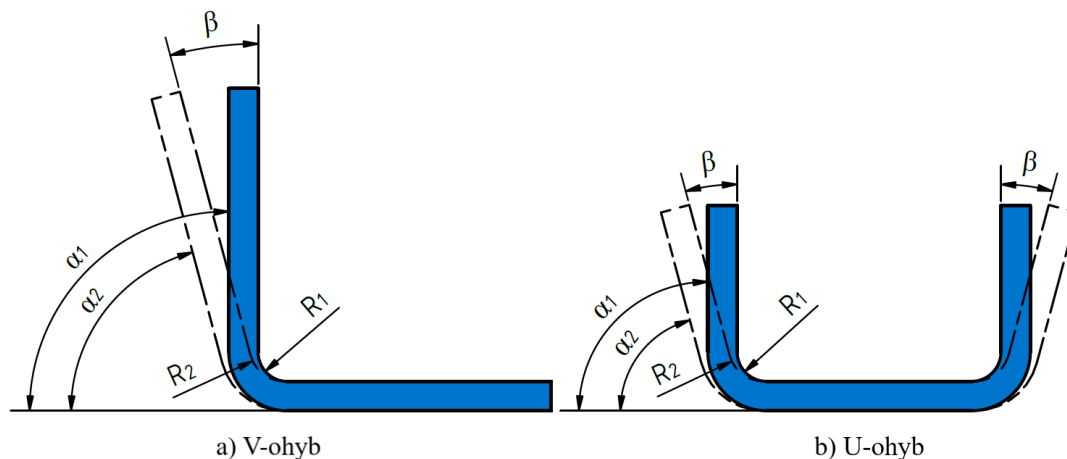
$$\tan \beta = 0,375 \cdot \frac{l_v}{k \cdot t} \cdot \frac{R_e}{E}, \quad (1.12)$$

kde: k – součinitel určující polohu neutrální plochy [-], $k = 1 - x$, viz tab. 1.

Vztah pro výpočet odpružení (U-ohyb):

$$\tan \beta = 0,75 \cdot \frac{l_u}{k \cdot t} \cdot \frac{R_e}{E}, \quad (1.13)$$

kde: l_u – vzdálenost středů poloměru mezi matricí a ohybníkem [-], viz obr. 3.



Obr. 7 Odpružení materiálu [4]

Při ohýbání je snaha o co nejmenší odpružení materiálu, které lze částečně nebo úplně eliminováno následujícími metodami:

- Kalibrace a “ražení“ úhlu – je poslední fází ohýbání, které může nebo nemusí být provedeno. Do matrice je velkou silou zalisován polotovár, u kterého se po odlehčení téměř nemění úhel ohybu, ale je shodný s úhlem a poloměrem matrice. Nevýhodou je velká tlačná síla, kterou musí stroj vyvinout a shodný úhel matrice a razníku.
- Přehnutí polotovaru – je jednou z nejpoužívanějších metod. Princip spočívá v tom, že ohýbaný polotovár je přehnut o velikost úhlu odpružení a po následném odlehčení se polotovár vrátí na požadovaný úhel, který je předepsán na výrobním výkresu. Důležité je spočítat velikost odpružení, která je přičtena k požadovanému úhlu.
- Prolisy – slouží k úplnému odstranění odpružení. Důvodem je vyztužení ohybu pomocí tvarového elementu umístěného v ohybnici. Ohybník je v místě tlačného členu odlehčen, aby byl materiál schopen se deformovat směrem k hornímu nástroji, který je zobrazen na obr. 8.
- Malý poloměr ohybu.
- Volba vhodného materiálu.

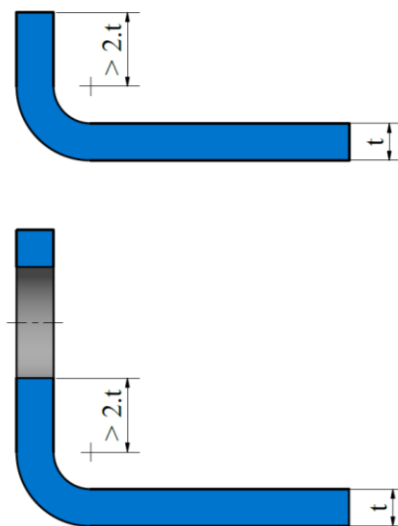


Obr. 8 Nástroj pro výrobu prolisů [15]

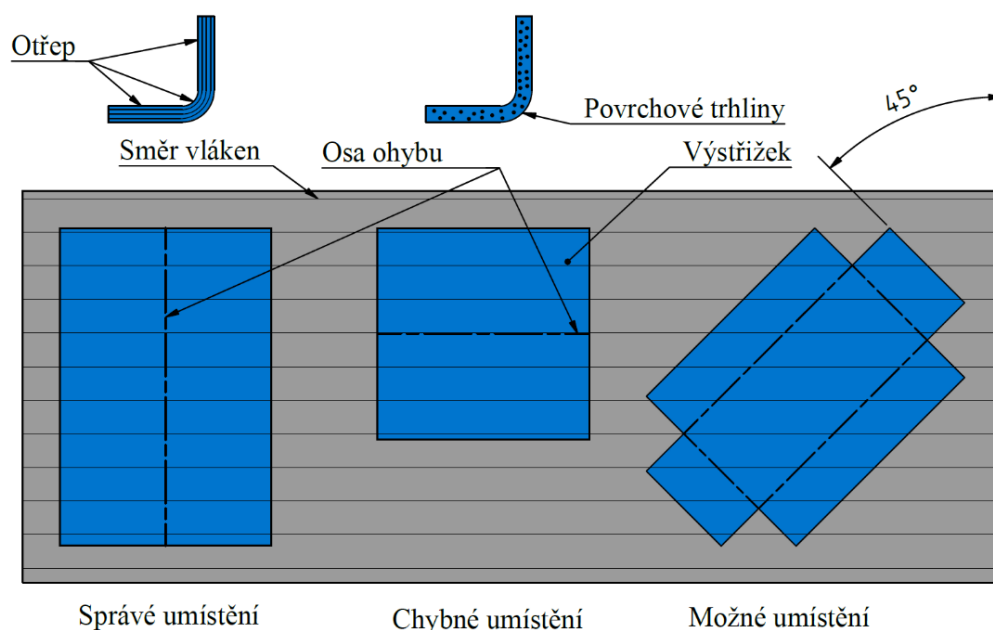
1.6 Technologické požadavky na konstrukci výlisku [4], [9], [5]

Konstruování výlisků má svá pravidla, kterých je nutné se držet a počítat s nimi při navrhování ohýbaného dílce. Pro výrobu přesného a funkčního dílce je dobré dodržovat následující pravidla:

- Volit malý poloměr ohybu, který zmenší úhel odpružení.
- Volit osu ohybu kolmo na směr vláken. Jestli není pravidlo splněno je nutné zvětšit poloměr ohybu, aby nedošlo ke znehodnocení samotného dílce. Vhodné umístění polotovaru na pás plechu je popsáno na obr. 10.
- Nahradit volné ohýbání kalibrací, která zpřesní úhel ohybu a odstraní odpružení, jak již bylo zmíněno.
- Umístit polotovár tak, aby otřep po stříhání byl namáhán tlakem.
- Polotovár v místě ohybu musí mít kolmé okraje k ose ohybu. Pokud není splněno, dojde ke zvětšení velikosti poloměru na okraji ohybu a může nastat posunutí místa ohybu.
- Ohýbané rameno nesmí být menší než dvojnásobek tloušťky polotovaru. Zobrazeno na obr. 9.
- Dodržet minimální vzdálenost díry od místa ohybu, kterou vysvětluje obr. 9. Pokud se díra nachází v blízkosti ohybu, dojde k deformaci díry, která je dále nepoužitelná.
- Volit stejný poloměr ohybu na celé součásti.
- Součásti volit tak, aby se ohýbalo pouze v jednom směru. Pokud je nutný ohyb v opačném směru, je nezbytné odstranit otřeby na polotovaru.



Obr. 9 Minimální vzdálenost ramene a díry od místa ohybu [9]



Obr. 10 Umístění polotovaru na pás plechu [5]

2 OHRAŇOVÁNÍ [4], [12]

Technologií ohraňování je myšleno ohýbání polotovaru s malým poloměrem ohybu, kde platí $R_0/t < 6$. Při dodržení této rovnice se ohyb považuje za ostrý. Touto technologií lze vyrábět složité ohybky z přístřihů plechu. Na rozdíl od strojního ohýbání se u ohraňování dosahuje značných délek ohybu, které dosahují až 9 m na jednom stroji. Proto jsou tyto stroje hojně rozšířeny ve strojírenských firmách, kde se používají pro tváření i rozměrných ohybek.

Ohraňování je prováděno na jednoúčelových strojích, které se nazývají ohraňovací lisy. Vyznačují se velkou lisovací silou a rychlou přestavbou nástrojů, které se nejčastěji sestavují ze segmentových dílů, na požadovanou délku. Díky tomu je stroj univerzální a je možné jej používat jak pro kusovou, tak i pro sériovou výrobu. V současné době jsou ohraňovací stroje řízeny počítačovým systémem a je možné je vybavit průmyslovým robotem, který je schopen provádět celý proces ohýbání sám. Roboty se používají u sériové výroby, kde nedochází k tak častému přeprogramování robota a přestavbě celého pracoviště. Důvodem použití, je snížení nákladů na provoz a zefektivnění výroby.

2.1 Stroje pro ohraňování [4], [16], [17]

Ohraňování je možné provádět na více strojích, které se dělí především podle pohybového mechanismu. Do nejlevnější a konstrukčně nejjednodušší varianty se řadí ruční ohraňovací lis, který generuje ohybovou sílu ve výstředníkovém mechanismu a je vhodný pro nenáročné operace. V průmyslu se převážně používají hydraulické nebo mechanické ohraňovací lisy, které dosahují velkých ohybových sil a přesností.

2.1.1 Ruční ohraňovací lis [2], [16], [17]

Ruční ohraňovací lis (obr. 11) je jednoduchý tvářecí stroj, který se vyskytoval v klempířských nebo zámečnických dílnách, kde plnil svoji práci. Ohybová síla je generována člověkem, proto lze tvářet materiál o malé tloušťce a délce. Limitní tloušťka materiálu se nachází okolo 2 až 3 mm. Důvodem využívání těchto strojů je nízká pořizovací cena a hospodárny provoz u kusové výroby jednoduchých a méně přesných výrobků. Výhodou je také ruční nastavení dorazů, které slouží ke zpřesnění opakujících se ohybů. Některé ruční ohraňovací stroje lze pořídit jako příslušenství, převážně k ručním hydraulickým lisům, kde dojde ke zvýšení ohybové síly.



Obr. 11 Ruční ohraňovací lis [17]

2.1.2 Mechanický ohraňovací lis [14], [16]

Mechanický ohraňovací lis je jedním z prvních ohraňovacích lisů, které se používali v sériové výrobě. Dnes se s nimi často nesetkáme a jsou nahrazovány moderními stroji, které mají vyšší jmenovitou sílu a jsou flexibilnější pro výrobu. Nejčastěji byl beran stroje poháněn výstředníkovým mechanismem, ale také se používal kolenový, vřetenový nebo klikový. Výhodou těchto strojů byla jednoduchost, životnost a snadná údržba.

V dnešní době se celý svět zabývá ekologií a výrobci se snaží vyvíjet ekologické řešení pohonu strojů. Na trhu se objevují servoelektrické ohraňovací lisy (obr. 12), které neobsahují hydraulický olej, ale jsou poháněny pomocí servomotorů, které nabízejí až poloviční úsporu energie. Celý princip spočívá v mechanismu, který obsahuje dva nebo více synchronizovaných servomotorů s převodovkou, na které je navíjen plochý řemen, který je propleten přes sadu kladek. Díky této konstrukci kladek je tlačná síla rovnoměrně rozložena v celé délce razníku a nedochází tak k průhybu beranu. Pohyb razníku směrem nahoru je uskutečněn za pomoci pružin, které šetří energii při zdvihu. Ohraňovací lis je schopen vyvinout sílu až 4 000 kN na nástroji o délce 4 m. Velkou výhodou je nízká hladina hluku, která je generována tichými servomotory. Výrazně hlasitější jsou hydraulické lisy, které jsou po celou dobu provozu zpuštěné. Další nespornou výhodou je absence hydraulického oleje, který se u hydraulických ohraňovacích lisů musí pravidelně měnit nebo filtrovat a je ho komplikované ekologicky zpracovat. Nevýhodou tohoto stroje je, že nedosahuje tak velkých tlačných sil jako hydraulický stroj. Z těchto důvodů se servoelektrický ohraňovací lis stává oblíbeným strojem ve strojírenských firmách, které pracují s tenkými polotovary.



Obr. 12 Ohraňovací lis, E-Brake HD Ultra [16]

2.1.3 Hydraulický ohraňovací lis [2], [16]

Hydraulický ohraňovací lis (obr. 13) je nejpoužívanějším typem stroje pro ohraňování polotovarů ve strojírenství. Celková síla stroje je generována za pomoci zubových čerpadel, které pohání elektrické motory. Tlaková energie je převáděna tlakovými hadicemi do válců, které jsou pevně spojeny s rámem a beranem stroje. U hydraulických lisů je nutná tužší konstrukce beranu, aby při zatěžování nedocházelo k průhybu, protože je síla generovaná v krajních polohách beranu. Menší lisy jsou opatřeny dvojicí hydraulických válců, které jsou řízeny samostatně, aby mohli kompenzovat zkřížení a rovnoběžnost beranu vzhledem ke stolu, popřípadě kdyby došlo k situaci, kdy jsou rozdílné úhly na ohybku. U silnějších lisů je každá strana opatřena dvojicí válců, které dokážou vyvinout větší ohybovou sílu pro tváření silnějších materiálů. Hydraulické ohraňovací lisy byly konstruovány pro nejtěžší operace, proto jsou schopny vygenerovat sílu až 12 500 kN v délce 9 m. Při potřebě ohýbat delší polotovary se používá tandemového uspořádání, kde jsou lisy umístěny vedle sebe a tvoří jeden celek. Jako každé zařízení, tak i tento stroj má své světlé i stinné stránky. Mezi výhody patří: velká lisovací síla, nižší pořizovací náklady a produktivita. Nevýhodou je složitá údržba, filtrování a pravidelná výměna oleje, kontrola těsnosti hydraulických prvků, vysoká hladina hluku a vyšší spotřeba elektrické energie.

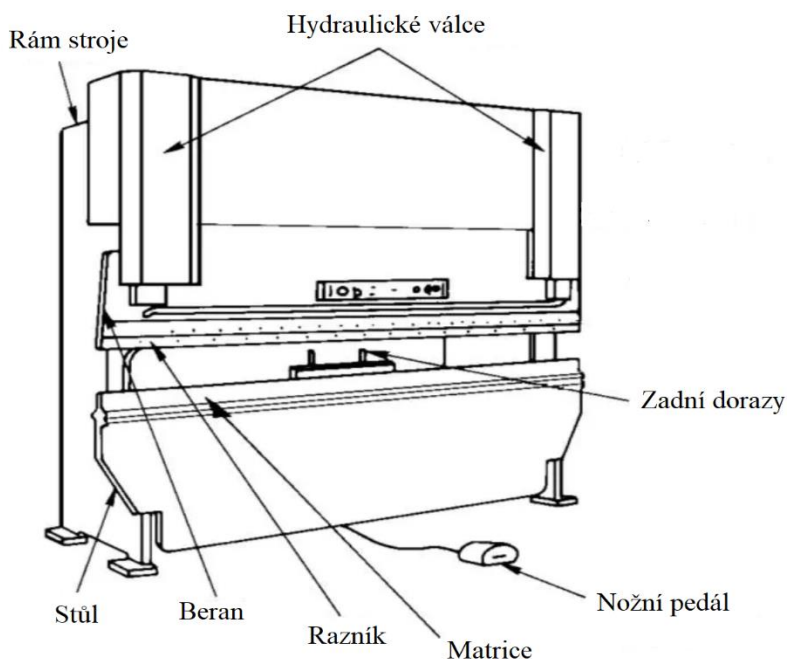


Obr. 13 Ohraňovací lis, H-Brake HD Ultra [16]

2.2 Konstrukce ohraňovacích lisů [16], [18], [19], [20], [21]

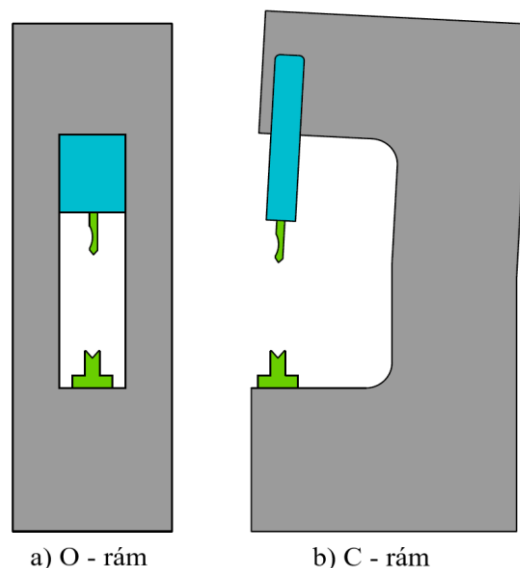
Každý ohraňovací lis se skládá z dílčích komponent, které budou popsány v následujících bodech a jsou nastíněny na obrázku 14.

- Rám stroje – jedním z nesložitějších a nejobybnějších prvků ohraňovací lisu je rám, který má za úkol pohltit celkovou ohybovou sílu. Proto musí být dostatečně tuhý, aby nedošlo k jeho průhybu a tím nebyl negativně ovlivněn ohýbací proces. Rám se nachází v zadní části stroje a je nejčastěji svařovaný z jednotlivých plechových dílců. U starších strojů byl vyráběn jako odlitek. Nosná konstrukce se dělí dle tvaru na dva typy, a to “O” a “C” rám. Prvním



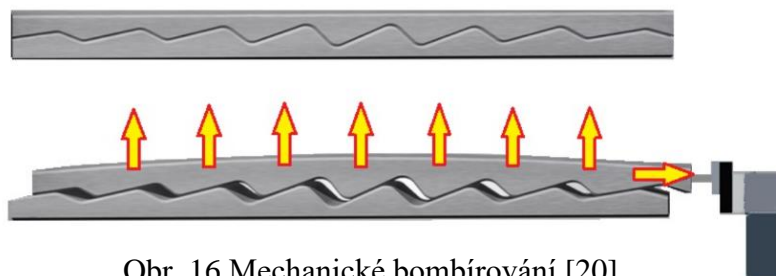
Obr. 14 Popis ohraňovacího lisu [19]

typem je konstrukce do tvaru “O“, který se často vyskytuje u servo elektrických ohraňovacích lisů. Hlavní výhodou je, že nevzniká velká deformace nosného prvku, který je zatěžován pouze na tah a napětí je zde rovnoměrně rozloženo. Tento typ konstrukce se může hodit do menších firem, kde se nenachází dostatečný prostor, protože disponují menší celkovou hloubkou. Druhým typem je rám ve tvaru písmene “C“, který je namáhán ohybem. Napětí je zde rozloženo nerovnoměrně, a proto dochází k větším průhybům, které způsobují natočení nástroje viz obr. 15. Výhodou konstrukce je jednoduchost a možnost tandemového uspořádání, které u prvního typu není možné. Nevýhodou je vyšší celková hmotnost stroje a jeho rozměry.



Obr. 15 Druhy rámců strojů [16]

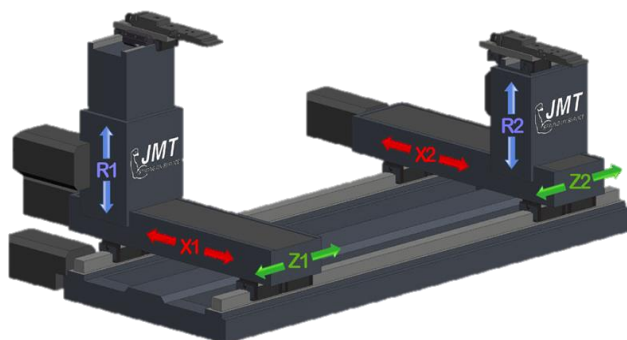
- Beran – je pohyblivým elementem, který přenáší pracovní sílu z hydraulického válce nebo kladkového provedení na horní nástroj, který se nazývá razník. Beran musí být dostatečně tuhý, aby nedošlo k jeho deformaci při ohraňování. Pohyb je usměrněn pomocí kluzných lištových ložisek, které dovolují pohyb pouze ve svislém směru. Ve spodní části se nachází upínací lišta pro razníky, která je navržena pro rychlou a snadnou výměnu nástrojů.
- Pracovní stůl – je nepohyblivá část stroje, která je součástí rámu. Musí být dostatečně tuhý, aby dokázal zachytit veškerou sílu generovanou beranem a nedošlo k průhybu. Jeho součástí je bombírovací mechanismus, který eliminuje změnu deformace a zakřivení obrobku. Tato negativní vlastnost se vyskytuje u dlouhých ohybů, kde dochází k prohnutí beranu a stolu. Existuje několik metod, které částečně nebo úplně odstraní nerovnoměrný úhel ohybu. Méně nákladná metoda, která se vyskytuje u základních řad ohraňovacích lisů je nazývaná mechanické bombírování. Metoda využívá klínové profily (obr.16), které do sebe zapadají a při pohybu jednoho z nich, dochází k průhybu matrice do požadované polohy. Klínový profil je posouvám za pomoci šroubu, kterým je otáčeno ručně nebo pomocí servomotoru. Druhou metodou je hydraulické bombírování, které má podobný princip. Několik hydraulických válců v pracovním stole působí na spodní nástroj, který je jimi prohýbán. Na bombírovacím mechanismu se nachází upínací deska, do které je uchycena matrice. Tato deska primárně slouží k pevnému uchycení spodního nástroje, ale také se u některých strojů můžeme setkat s přídavným modulem, který z ní vytvoří programovatelnou osu. Přídavná osa se používá pro lemování nebo pro využití dvoudrážkové matrice.



Obr. 16 Mechanické bombírování [20]

- Dorazy – vyrobit přesnou délku ramene ohybu je složité, a proto jsou ohraňovací lisy opatřeny dorazy, o které se opírá ohýbaný materiál. Tento prvek se nachází v zadní části stroje, kde se vyskytuje bezpečný prostor pro jejich pohyb. Systém dorazů musí být dostatečně tuhý, aby nedocházelo k nepřesnostem při ohraňování. Proto jsou jednotlivé osy opatřeny valivým lineárním vedením a kuličkovými šrouby. Vyrábí se v mnoha

modifikacích. Základní modely mají řízenou pouze jednu osu a ostatními osami je pohybováno ručně. Nevýhodou je nižší produktivita a nutnost ručního seřízení dorazů v zadní části stroje. Profesionální stroje mohou mít až 6 samostatně řízených os (obr. 17), které jsou uváděny do pohybu pomocí servomotorů. Výhodou víceosého dorazu je vysoká produktivita a možnost ohraňovat velmi tvarově složité součásti.



Obr. 17 Doraz s 6-ti stupni volnosti [21]

Popis jednotlivých os:

- Osa x – se pohybuje ve směru kolmém na osu ohybu. Určuje vzdálenost dorazu od nástroje, a tím se mění velikost ramene ohybu.
- Osa z – se pohybuje rovnoběžně s nástrojem a je přesouvána z důvodu různé šířky polotovaru.
- Osa r – se posouvá ve vertikálním směru, a to z důvodu různé tloušťky polotovar.

- Ovládací panel (obr. 18) – je součástí každého CNC ohraňovacího lisu. Slouží k ovládání stroje a všech jeho doplňkových modulů. V dnešní době je většina panelů opatřena velkým dotykovým displejem a klávesnicí pro co nejjednodušší ovladatelnost. Nejčastěji se využívá na korekci úhlu, zobrazení dílce a postupu ohýbání nebo pro tvorbu jednodušších programů. Při ohýbání složitých ohybků je program nahrán do stroje pomocí přenosného úložiště nebo stažen z firemní sítě, kde je vytvořen technologem, pomocí CAM softwarů.

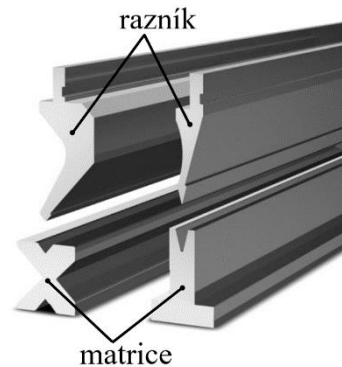


Obr. 18 Ovládací panel

2.3 Nástroje [22], [23], [29], [24], [25], [26], [27], [28]

Při ohraňování se využívá dvojice nástrojů, které jsou zobrazeny na obr. 19. Matrice (ohybnice) je umístěná ve spodní části, kde je pevně uchycena k nosníku, který leží na stole. Razník (ohybník) je pohyblivým nástrojem, který je přes upínač upevněn k beranu stroje. Důležité je zvolit správnou kombinaci nástrojů. Úhel razníku musí být shodný nebo menší, než je úhel matrice, aby nemohlo dojít ke kolizi a porušení nástrojů. V praxi se nejčastěji volí úhel horní nástroj minimálně o 5° menší, než je úhel matrice. Důvodem je zmenšit třecí sílu mezi polotovarem a matricí. Toto pravidlo, ale neplatí u procesu kalibrace, kde je nutné, aby oba nástroje měli totožný úhel.

Nástroje pro ohraňovací lisy musí splňovat základní vlastnosti, mezi které patří: rozměrová a tvarová přesnost, drsnost a tvrdost povrchu. Pokud by podmínky nebyly dodrženy, docházelo



Obr. 19 Nástroje [29]

k nadměrnému opotřebení, protože při ohýbání dochází k velkým tlakovým a ohybovým napětím, které je nutné přenést na beran stroje. Z tohoto důvodu je nutné, aby nástroje byly vyráběny z ocelí, které jsou vhodné ke zušlechťování. Jednotlivé oceli a jejich vlastnosti jsou uvedeny v tabulce 2.

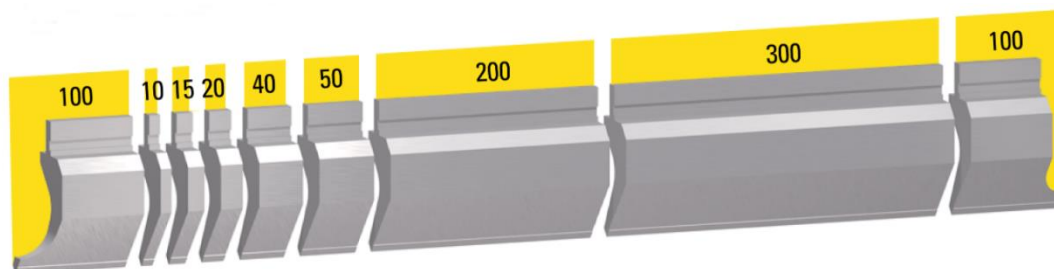
Nejpoužívanějším materiálem pro výrobu nástrojů je ocel 42CrMo4, která dosahuje vysoké tvrdosti a pevnosti. Je vhodná pro náročné operace a velké série. Pro menší zatěžující síly se používají oceli C45 nebo C55, které jsou méně nákladné a používají se u kusové výroby nebo při ohraňování s menším zatížením. Ohraňovací nástroje mají výrobcem stanovené maximální zatížení, které se vztahuje na délku jednoho metru a je napsáno na jednotlivých nástrojích nebo v příslušném katalogu. Je nezbytné, aby nedocházelo k překročení maximální hodnoty, protože by mohlo dojít k deformaci nebo poškození.

Nástroje jsou vyráběny z plného tyčového profilu, kde za pomoci frézovacího stroje vznikne požadovaný tvar. Z důvodu otěru mezi maticí a razníkem je nutné povrchově zakalit pracovní části, aby se dosáhlo vyšší trvanlivosti a jádro nástroje zůstalo houževnaté. Nejčastěji se povrch kalí za pomoci laseru, který nahřeje polotovár jen do hloubky několika milimetrů. Zakalené plochy, ale i upínací části je nutné rozměrově zpřesnit, a proto je použita technologie broušení. Posledním krokem výroby je popis nástroje.

Tab. 2 Vlastnosti materiálu pro výrobu nástrojů [24], [25]

Ocel	C [%]	Cr [%]	Mn [%]	Mo [%]	Pevnost v tahu [Mpa]	Tvrdost [HRC]	Kalící teplota [°C]
42CrMo4	0,41	1,05	0,75	0,23	1100 - 1300	53 - 61	820 - 850
C45	0,56	0,4	0,75	0,1	780 - 930	50 - 55	805 - 845
C55	0,55	0,4	0,7	0,1	800 - 950	53 - 60	810 - 850

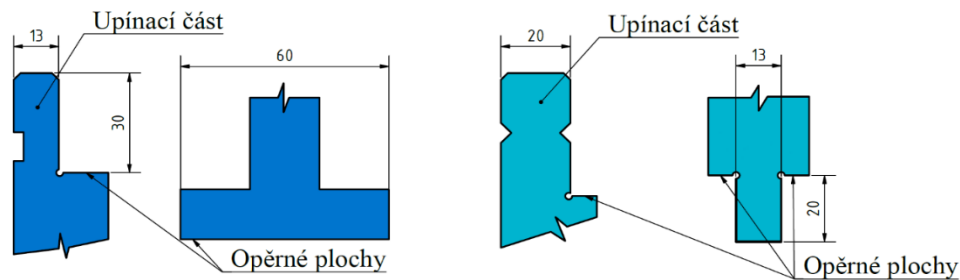
Nástroje jsou dodávány a vyráběny ve standardizovaných délkách nebo v dělených sadách, aby bylo možné všestranně použít. Na obrázku 20 je zobrazen segmentový razník s upínáním „amada-promecam“, který má celkovou délku 835 mm a je složen z 9 částí. Rohy dělené sady se vyrábí s odlehčením upínací části, aby bylo možné ohýbat uzavřené tvary jako například rozvaděčové skříně. Pracovník z těchto segmentů je schopen poskládat požadovanou délku a v krajních polohách využít odlehčené rohy, které usnadní práci ve špatně přístupných místech.



Obr. 20 Dělený razník s upínáním amada-promecam [28]

2.3.1 Upínání nástrojů [30], [31], [32]

Jednou z důležitých součástí ohraňovacího lisu je upínací systém nástrojů, který má za úkol vytvořit pevný silový spoj mezi strojem a nástrojem. Nejčastěji se využívá hydraulického, ale i pneumatického nebo mechanického upnutí, které upíná jak razník, tak matici. Každý výrobce si tvar upínací části přizpůsobil podle svých představ, a proto je nutné při výběru vhodného nástroje zvolit správný tvar. Nejčastějším typem upínání v Evropě je „EURO (amada-promecam)“, která se nachází na strojích: Durma, Ermaksan, Amada, Baykal a HACO. Dalším oblíbeným upínacím systémem je „Wila/Trumpf“, který je vidět na obr. 21.



Upínání nástrojů typ - EURO (Amada-promecam)

Upínání nástrojů typ - Wila/Trumpf

Obr. 21 Typy upínání nástrojů [32]

Mechanické upínání

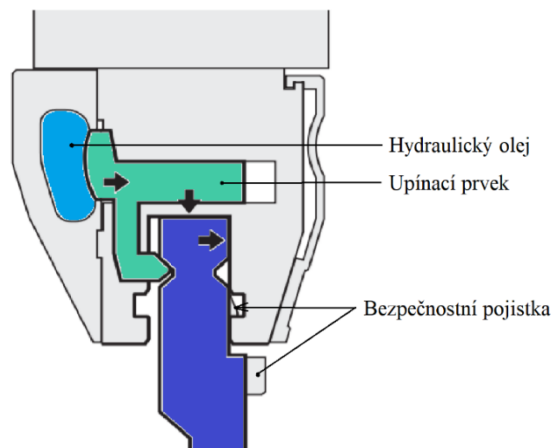
Pro ohraňovací lisy je k dispozici celá řada upínacích systémů a jedním z nich je mechanické upínání. Tento typ je nejekonomičtější variantou, která je na trhu. Samotné upínání probíhá tak, že se razník vloží nebo nasune do adaptéru a lehce se dotáhne přitlačná deska, aby nástroj nemohl vypadnout a nedošlo ke zranění. Následně je razník zatlačen do matrice, aby došlo k vymezení vŕle mezi nástrojem a adaptérem a dotáhnou se šrouby na přitlačné desce. Tímto je nástroj pevně spojen s beranem a může probíhat samotné ohýbání. Výměna spodního nástroje je velmi jednoduchá. Nejprve se důkladně očistí styčné plochy, do kterých je položena matrice a dotáhnou se stavěcí šrouby, které vymeží vŕle mezi nástrojem a nosníkem. Existuje mnoho modifikací tohoto systému a asi nejčastěji se můžeme setkat s rychloupínacími adaptéry (obr. 22), které mají zabudovaný excentr. Sevření razníku nastane otočením páky. Tento typ je cenově méně nákladný, než hydraulické nebo pneumatické upínání. Především se používají na lisech, kde nedochází tak často k výměně nástrojů.



Obr. 22 Rychloupínací adaptér toolever [30]

Hydraulické upínání

Jedná se o nejpoužívanější upínací systém na trhu, z důvodu pevného, rychlého a přesného spojení nástroje se strojem. Hydraulický upínač je přímo spojený s beranem stroje, nikoliv přes adaptér, tím pádem se zvětší manipulační prostor mezi razníkem a matricí. Na obr. 23 je zobrazen řez hydraulickým upínačem. Při výměně nástroje se v první kroku sníží tlak, který způsobí vysunutí přitlačného kolíku z „V-drážky“ v nástroji. Nástroj je uvolněn a opře se o bezpečnostní pojistku, která brání vypadnutí nástroje. Obsluha uvolní pojistku a bezpečně nástroj vysune z upínače. Nyní je možné osadit nový razník pro další operace. Matrice neobsahuje žádnou bezpečnostní pojistku, protože je přitlačována vlastní vahou do držáku. Výměna matrice jinak probíhá stejným postupem. Výhodou tohoto systému je rychlá a efektivní výměna nástrojů, čímž se zvýší celková produktivita stroje.



Obr. 23 Princip hydraulického upínání [31]

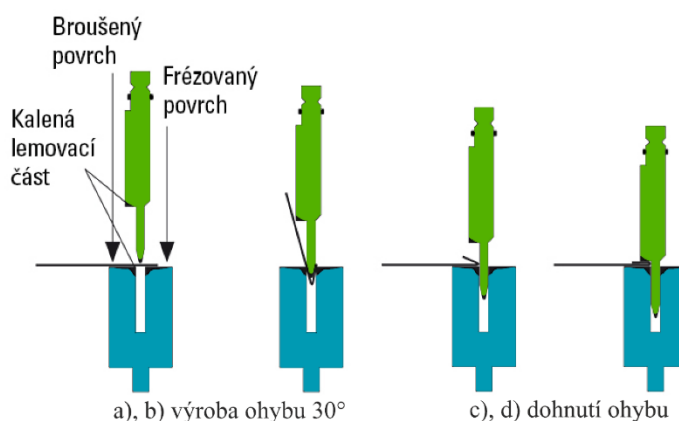
2.4 Možnosti výroby na ohraňovacích lisech

První ohraňovací lisy byly velice jednoduché stroje, které sloužili k ohýbání tvarově jednoduchých výrobků. S příchodem automatizace se z těchto strojů začali stávat velice univerzální stroje, na kterých je možno tvářet různé materiály do složitých tvarů. Proto se dnes na trhu vyskytují převážně CNC ohraňovací lisy, které obsahují doplňkové moduly, které zpřesňují nebo usnadňují práci. Řada výrobců vyvíjí nové speciální nástroje, které již neslouží jen k prostému ohýbání.

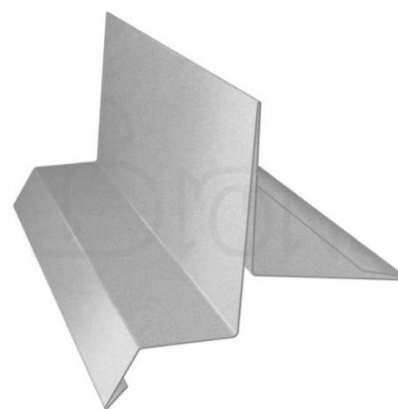
2.4.1 Lemovací nástroje [28], [12], [33], [34]

Lemování je druh plošného tváření, při které dochází k deformaci kraje výlisku. Jedná se o jednoduchou operaci, která se používá již řadu let. Využívá se především u tenkých plechových polotovárů, kde dochází k vyztužení hrany výlisku nebo spojení dvou plechových součástí. Dále se používá k odstranění ostré hrany na polotovaru nebo jako kosmetický prvek. V dnešní době je velké množství strojů, které se zabývají lemováním. Jedním z nich je ohraňovací lis, který je schopen pomoci speciálních nástrojů operaci provést.

První lemování probíhalo za pomoci dvou sad nástrojů, které se museli během procesu vyměnit. Nejprve se na lis osadil razník a matrice s vnitřním úhlem 30° a polotovár se v požadovaném místě ohnul. Následovala výměna za rovnací nebo zplošťovací nástroj, který dokončil ohyb tak, že došlo k dotyku ohýbaných ramen. V dnešní době je snaha snížit prostroje mezi operacemi a tím snížit celkové náklady na výrobu. Z tohoto důvodu se používá dvoustupňový lemovací nástroj, který je schopen na dva zdvihy vyrobít lem, bez nutnosti výměny nástroje. Celý postup lemování je popsán na obrázku 24. V prvním kroku dojde k ohybu ostrého úhlu, jako tomu bylo u předešlého postupu. V druhé části se razník přemístí do prostoru matrice a pevně se o ni opře, aby nedošlo k vychýlení horního nástroje během lisování lemu. Výhodou dvoustupňového lemovacího nástroje je rychlost a produktivita výroby a možnost efektivně provádět technologii lemování na CNC ohraňovacím lisu. Tato technologie se často používá v klempířských dílnách, kde se vyrábí nejrůznější střešní profily. Jedním z nich je závětrná lišta, která je zobrazena na obrázku 25.



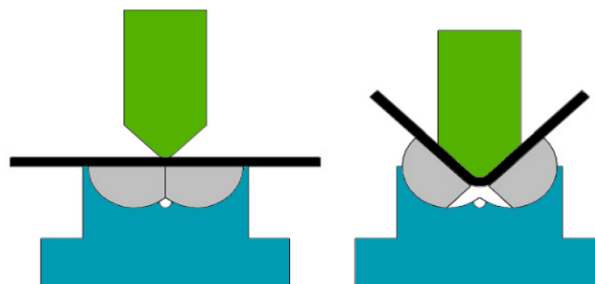
Obr. 24 Princip lemování [28]



Obr. 25 Závětrná lišta [34]

2.4.2 Matrice Roll-bend [35], [15], [28]

Dalším speciálním nástrojem používaných na CNC ohraňovacích lisech je takzvaný “Roll-Bend“, který vyrábí firma Trumpf. Jedná se o matrici obsahující ploché válečky, které se natáčí během samotného ohybu. Před zatížením je úhel opěrných ploch 180° , který se při ohýbání mění a je možné vyrobit téměř libovolný úhel ohybu. Jeho minimální hodnota se pohybuje okolo 50° u tenkých polotovarů. Nástroj obsahuje několik párů tažných válcových pružin, které po odlehčení vrátí výkyvné válečky do původní polohy. Princip ohýbání je nastíněn na obr. 26.



Obr. 26 Princip “Roll-Bend“ [35]

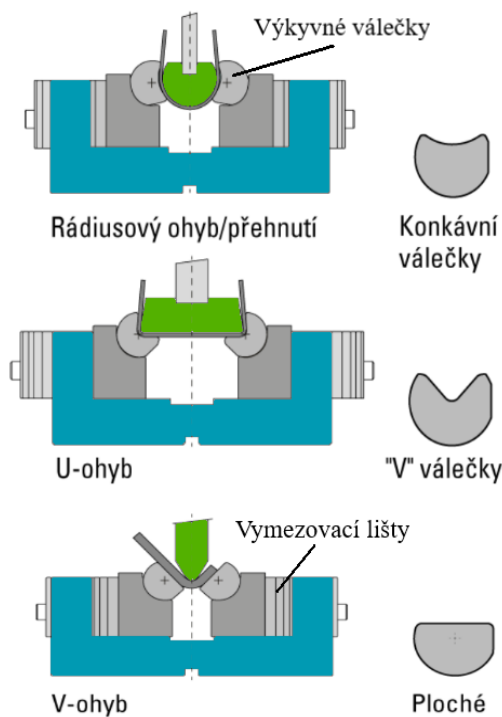
Roll-bend se stává oblíbeným nástrojem, který řeší nevýhody volného ohýbání. Jedním z problémů jsou funkční otvory v blízkosti ohybu. Při tváření takového dílu v běžné matrici dochází k deformaci otvoru, protože ohýbaná díra není podporována matricí. Díl je následně nevyhovující a musí být zvolen jiný technologický postup. Existují dvě



Obr. 27 Porovnání běžné a “Roll-Bend“ matrice [15]

základní varianty. První možností je nejprve součást ohnout a následně funkční otvory dovrát. Tento postup je vhodný pouze u kusové výroby. Druhou možností je využít speciální nástroj “Roll-Bend“, který podpírá ohýbaný polotovár během celého procesu a z tohoto důvodu nedojde k deformaci otvoru, který se nachází v blízkosti ohybu. Dále se používá pro tváření pohledových součástí nejčastěji z nerezových ocelí, ale také ze slídkových plechů, kde nesmí být žádné známky otlacení nebo stop po nástroji. Z důvodu rovnoměrného rozložení napětí na matrici nedochází k otlacení polotovaru. Obrázek 27 zobrazuje rozdíl v otlacení mezi běžnou a “Roll-Bend“ matricí. Jak již bylo zmíněno, matrice podpírá polotovár po celou dobu ohybu, a proto je možné ohýbat velmi krátká ramena ohybu, která nelze vyrábět jinou metodou.

Nástrojů s otočnými elementy se na trhu vyskytuje velké množství a je možné se setkat s nastavitelnou výkyvnou matricí, která pracuje na podobném principu, jako výše uvedená. Zejména se používá pro větší tloušťky polotovaru a různé tvary výlisků. Matrice je variabilní a je možné pomocí vymešovacích lišt měnit její otevření v určitém intervalu. Dále je možné vyměňovat jednotlivé válečky, které následně určují tvar výsledného ohybu. Správnou kombinací razníku a matrice je možné vyrábět V-ohyb, U-ohyb s malým nebo velkým poloměrem. Jednotlivé typy jsou zobrazeny na obr. 28.



Obr. 28 Typy výkyvných elementů a jejich použití [28]

2.4.3 Polyuretanové matrice [36], [37], [38], [39]

Ohraňovací lis vyžaduje velkou paletu nástrojů, aby bylo možné tvářet nejrůznější tvary a tloušťky polotovarů. Matrice i razníky jsou finančně náročné na pořízení a je nutné zvážit, jestli se pořízení nového speciálního nástroje vyplatí. Z tohoto důvodu se výrobci zaměřili na vývoj víceúčelové matrice, která bude vhodná na kusovou a malosériovou výrobu. Výsledkem je polyuretanová matrice.

Polyuretan patří do skupiny elastomerů, který disponuje pružností, houževnatostí a odolností vůči opotřebení. Je také odolný vůči olejům, které se často vyskytují v technickém prostředí. Z uvedených důvodů se jedná o vhodný materiál pro tváření tenkých polotovarů. Polyuretanové vložky se podle vlastností dělí na čtyři základní typy, které jsou uvedeny v tabulce 3.

Tab. 3 Typy a vlastnosti polyuretanových materiálů [36], [37]

Typ	Tvrdość [ShA]	barva	Protažení [%]	Pevnost v tahu [Mpa]
0	70	modrá	650	31,3
1	80	zelená	600	36,5
2	90	červená	530	44,6
3	95	žlutá	400	44,1

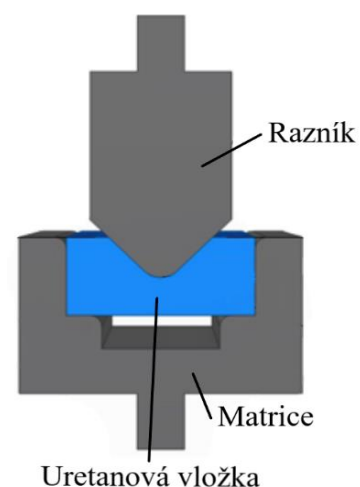
Polyuretanových vložek je na trhu velké množství a nejčastěji se vyrábí ve třech tvarových provedeních: trojúhelníkové, čtvercové a obdélníkové.

Prvním typem je vložka trojúhelníkového tvaru (obr. 29), která se vkládá do standardní V-drážky v matrici. Jedná se o nejlevnější variantu, která se vyrábí ve dvojím provedení, a to s odlehčovacím otvorem a bez něj. Obě varianty se používají na výrobu V-ohybu u pohledových součástí, protože zde nedochází ke styku polotovaru s ocelovou matricí. Postup výroby je obdobný, jako u standardního nástroje. Razník vtlačuje polotovar do matrice a výlisek získává tvar horního nástroje. Při tváření ostrých úhlů ohybu se volí polyuretanová vložka s otvorem, kde matrice dovolí hlubší průnik a nižší zatěžovací sílu. Výhodou jsou nízké pořizovací náklady a dlouhá životnost, která dosahuje až 20 000 stisků při správném používání.

Dalším typem je čtvercová nebo obdélníková vložka, která se vkládá do speciální ocelové matrice a je zobrazena na obr. 30. Pomocí polyuretanové vložky je možné vyrábět nejrůznější tvary z tenkých plechových polotovarů. Nejčastěji se používá pro tváření velkých poloměrů ohybu nebo U-ohybu. Pro dosažení velkého poloměru se využívá speciálního razníku, který obsahuje držák a výměnný rádiusový element, který lze jednoduše nahradit. Z tohoto důvodu je důležité zvolit dostatečně širokou vložku, aby nedošlo k dotyku rádiusového razníku a pouzdra matrice. V praxi se tato hodnota volí, jako dvojnásobek zanoření nástroje do vložky. Z obrázku 30 je zřejmé, že uretanová nebo polyuretanová vložka musí být v krajních polohách dostatečně vypodložena, aby se při samotném zatěžování mohla deformovat do volného prostoru. Čtvercové nebo obdélníkové vložky se také vyrábí ve dvou variantách, jako tomu bylo u předešlého typu. Důvodem použití



Obr. 29 Trojúhelníkové vložky [37]



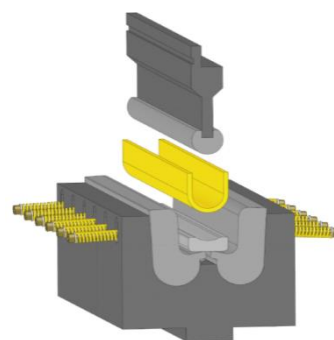
Obr. 30 Razník a matrice s uretanovou vložkou [38]

duté vložky je především snížení lisovací síly, ale také lepší deformační vlastnosti. Největší výhodou jsou nízké pořizovací náklady, všestranné použití, absence stop po nástroji, ale také zde nedochází k znečištění ohýbaného polotovaru.

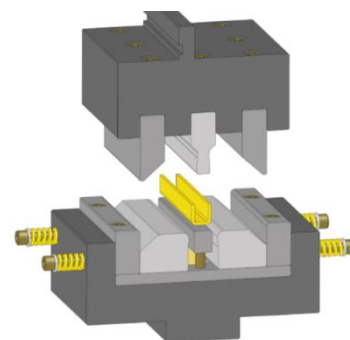
2.4.4 Další speciální nástroje [41], [40], [32], [28], [15]

Se stupňujícím se uplatněním ohranovacích lisů v tuzemských firmách vznikl požadavek na vývoj a výrobu mnohem specializovanějších nástrojů, které mnohdy nahrazují použití jiných výrobních strojů. Vybrané nástroje lze rozdělit podle použití na:

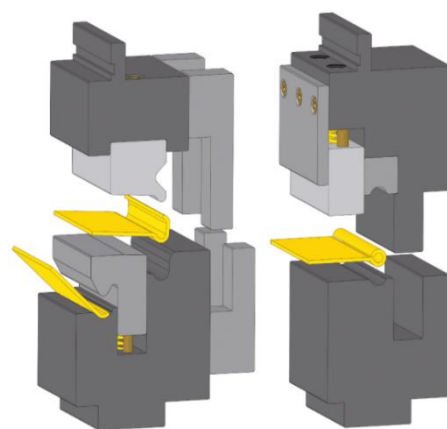
- “U-ohyb“ s velkým poloměrem ohybu – ohýbání probíhá ve speciální matrici, která obsahuje dva výkyvné elementy, které jsou nastíněny na obr. 31. Slouží k přehnutí rovných ramen polotovaru a tím dojde k potlačení odpružení. Postup výroby spočívá v tom, že nejprve rádiusový razník vtlačuje polotovar směrem do matrice, kde v dolní úvratí dojde k postupnému natáčení výkyvných členů, které ohýbají materiál směrem k hornímu nástroji. Výsledkem je výlisek ve tvaru “U“, který je vyroben na jeden zdvih stroje, čímž dojde ke snížení výrobních nákladů. Především se využívá u plechových polotovarů s maximální tloušťkou do 4 mm.
- “U-ohyb“ s malým poloměrem ohybu – jedná se o jednoúčelový nástroj (obr. 32), který je schopen na jeden zdvih vyrobít dva 90° ohyby, které tvoří samotný “U-ohyb“. Postup výroby je obdobný, jako u předchozího nástroje, kromě mechanismu odpružení. Využívá se zde klínového mechanismu, který v dolní úvratí posouvá lišty směrem k razníku a způsobí přehnutí polotovaru. Po odlehčení se jednotlivé pohyblivé segmenty vrátí do původní polohy a napomáhají tak snadnému vyjmutí výlisku. Speciální nástroj se především používá u hlubokých výlisků, které nelze vyrobít dvěma po sobě jdoucími ohyby. Na trhu se vyskytuje velké množství modifikací, kde je mechanismus odpružení řešen jiným způsobem, ale princip zůstává stejný.
- Nástroj pro výrobu pantů – jedná se o tvarově složité matrice s razníky, které na dva až tři zdvihy umožní vyrobít z tenkého polotovaru ohybek ve tvaru pantu. Používá se do tloušťky polotovaru 4 mm a je vyráběn především na zakázku. Proto je finančně velmi nákladný a používá se pouze v sériové výrobě. Na obr. 33 je zobrazena dvojice nástrojů, které prezentují postup výroby.
- “Z-ohyb“ – se používá v situaci, kdy není možné dva po sobě jdoucí ohyby s opačnou orientací ohranit. Problém vzniká u druhého z nich, kdy polotovar zavazí část matrice a je nutné zvětšit vzdálenost mezi ohyby, aby bylo možné ohyb uskutečnit. Z tohoto důvodu se používá tvarový nástroj, u kterého je možné vyrábět krátká ramena mezi ohyby. Celý Z-ohyb vzniká na jednom zdvih, čímž se zvyšuje produktivita výroby. Jednou



Obr. 31 Nástroj s výkyvnými čelistmi [40]



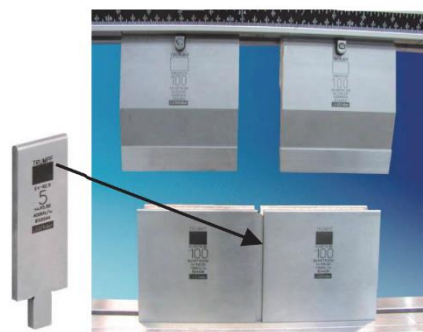
Obr. 32 Nástroj pro “U-ohyb“ [40]



Obr. 33 Nástroje pro výrobu pantů [28]

z nevýhod je vznik bočních sil, které je nutné zachytit. Nejčastěji je součástí matrice opěrná deska, o kterou se razník opírá při deformaci polotovaru.

- Nástroj pro výrobu větracích otvorů – jedná se o složitý nástroj, skládající se z razníku a matrice. Jeho úkolem je pomocí dvou technologických procesů vyrobít větrací otvor na jeden zdvih beranu. V první části dojde k prostřihnutí polotovaru, který je následně zalisován do matrice. Postup se opakuje, dokud není vyroben požadovaný počet větracích otvorů. Využívá se například v rozvaděčových skříních, kde je mřížka opatřena axiálním ventilátorem pro chlazení elektroniky. Nástroj je vyráběn na zakázku, podle přání zákazníka. Z tohoto důvodu se využívá u sériové výroby.
- Nástroj pro žebrové výztuhy – slouží ke zpevnění ohybu a odstranění odpružení. Vyrábí se ve dvou variantách. Ekonomičtější typem je tvarová vložka, která se vkládá mezi dva segmenty standardní matrice. Horní nástroj musí být složen také ze dvou kusů, mezi kterými je volný prostor, který slouží pro deformaci výztuhy. Tvarem vložky se určuje velikost výztuhy. Uspořádání nástrojů na ohraňovacím lisu je zobrazeno na obr. 34. Druhým typem je tvarový nástroj vyroben na zakázku, který již obsahuje tvarový element a je zobrazen na obr. 8. V praxi se nejčastěji využívá prvního typu, který je flexibilnější a univerzálnější.



Obr. 34 Schéma použití tvarové vložky [15]

2.5 Doplnkové moduly a bezpečnostní prvky

Dnešní doba si vyžaduje zvýšení přesnosti ohýbaného dílce. Proto se ohraňovací stroje už neobejdou bez doplňkových modulů, které nejenom usnadňují práci obsluhy, ale také zvyšují přesnost a bezpečnost, která byla v minulosti často opomíjena.

2.5.1 Laserové odměřování úhlu [42], [43], [44]

Každý ohraňovací lis funguje na podobném principu. Podle zadaných veličin do panelu, kterými jsou: tloušťka polotovaru, úhel ohybu a tvar nástrojů, je schopen si vypočítat potřebnou sílu i hloubku průniku razníku. Použitím tohoto postupu je tvar ohybu závislý na vlastnostech materiálu, které se mohou lišit v závislosti na dodavateli nebo na směru válcování. Z tohoto důvodu zde může dojít k výchylkám výsledného uhlu ohybu i o 2° , které lze eliminovat několika způsoby.

Jednou z používaných metod je laserové odměřování úhlu (obr. 35), které pracuje bezdotykově a velmi spolehlivě. Na obě strany matrice se umístí laserový vysílač s CMOS senzorem, který v reálném čase snímá laserovou projekci na součásti a vypočítá úhel mezi ohýbaným polotovarem a senzorem. Protože je poloha senzorů známá, může druhý senzor dopočítat skutečný úhel ohybu. Jednotlivé moduly jsou nejčastěji umístěné na valivém lineárním vedení, které umožní jejich pohyb rovnoběžně s matricí. U profesionálních ohraňovacích strojů je modulem pohybováno za pomoci servo motoru, který automaticky přesune snímač do předem stanovené polohy. Měření probíhá v několika různých módech, v závislosti na tvaru součásti, umístění jednotlivých ohybů a na přesnosti.



Obr. 35 Bystronic – laserové odměřování úhlu [42]

V prvním režimu je vytvořen program, do kterého je ručně zadán úhel odpružení, který je určen z tabulek nebo podle vztahů 1.12, 1.13. Následuje samotné ohýbání, během kterého je měřen výsledný úhel ohybu, ke kterému je přičtena hodnota odpružení. Po odlehčení všech vnějších sil je výsledný tvar ovlivněn pouze chybou odpružení. Jedná se o nejjednodušší metodu, kde nedochází k prodloužení výrobního procesu a výsledná přesnost se pohybuje okolo hodnoty $\pm 0,5^\circ$.

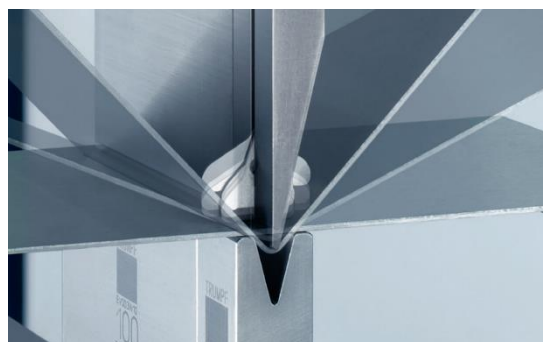
Druhou možností je změřit úhel odpružení, který se následně použije pro další ohyby. Postup probíhá následovně. Při výrobě 90° ohybu se v prvním kroku součást ohne na 95° . Následuje odlehčení a měření velikosti odpružení. Hodnota je uložena do paměti a ohraňovací lis dohne polotovaru. Tato metoda se používá především u kusové výroby, kde je nutné, aby i první výlisek měl správný úhel ohybu. Nevýhodou je prodloužení výrobního času.

Posledním režimem, je ohýbání dlouhých polotovarů. Zde se využívá trojice senzorů, které měří úhel jak v krajních polohách, tak i uprostřed polotovaru. Důvodem je eliminovat deformaci beranu. Jednotlivé senzory porovnávají měřený úhel, podle kterého se nastaví velikost bombírování a případně i rovnoběžnost matrice a razníku. Výsledkem je ohybek s konstantním tvarem a úhlem ohybu. Používá se především u prvního kusu jak sériové, tak i kusové výroby. Výhodou všech zmíněných metod je zvýšení produktivity a přesnosti výroby.

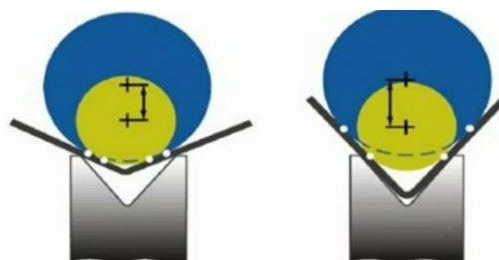
2.5.2 Mechanické snímání úhlu [45], [46]

Další možností, jak lze aktivně měřit úhel ohybu je systém ACB, který nabízí firma Trumpf. Jedná se o mechanickou dotykovou sondu, která je nejčastěji umístěna v horním nástroji. Obsahuje dvojici ocelových kotoučů, které mají rozdílné průměry a během samotného ohybu se dotýkají ve čtyřech bodech na vnitřní straně polotovaru. Na obrázku 37 je zobrazena dotyková sonda během procesu tváření.

Postup měření probíhá následujícím způsobem. Speciální nástroj obsahující senzor se umístí mezi ostatní razníky a propojí se s řídicím systémem stroje. Před samotným procesem ohýbání se nejprve provede kalibrace, která eliminuje možné opotřebení dotykových kotoučů a zpřesní ohýbací proces. Při tváření polotovaru se začne měnit rozteč mezi kotouči, která je nastíněna na obr. 36. Systém ze vzniklé difference dopočítá skutečný úhel ohybu, který porovnává s teoretickým. Dalším krokem je odlehčení, kde je změřena velikost odpružení, která je uložena do paměti pro další ohyby. Následuje finální dokončení ohybu a vyjetí razníku do referenční polohy. Metoda má své pro a proti. Výhodou je rychlá manipulace s nástrojem a přesné měření úhlu ohybu, které se pohybuje okolo $\pm 0,3^\circ$. Mezi nevýhody lze zařadit opotřebení měřících kotoučů a nutnost pořídit větší množství tvarových nástrojů s měřícím senzorem.



Obr. 37 Dotyková sonda ACB [46]



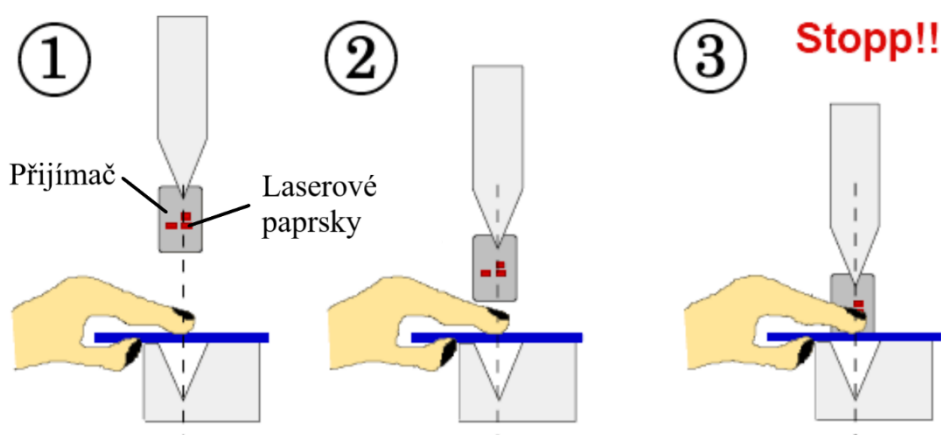
Obr. 36 Princip mechanické dotykové sondy [45]

2.5.3 Bezpečnostní prvky [48], [47]

Ohraňovací lisy patří mezi nebezpečná zařízení, která mohou způsobit vážná zranění. Důvodem je přítomnost obsluhy v blízkosti pohybujícího se beranu, která u starších zařízení není nijak chráněna. Proto je při práci nutné dodržovat základní pravidla bezpečnosti práce. Pracovník musí být také proškolen a seznámen s možnými riziky. V dnešní době je bezpečnost na prvním místě a výrobci opatřují ohraňovací lisy nejnovějšími bezpečnostními prvky, které poskytují operátorům spolehlivou ochranu.

Jedním z často používaných ochranných systému je prvek známý jako AKAS, který chrání končetiny před sevřením mezi razníkem a matricí. Systém se skládá z laserového vysílače a přijímače, které jsou umístěny po stranách beranu a během ohýbání se pohybují souběžně s razníkem. Pod horním nástrojem vytvoří bezpečnostní mříž, která obsahuje tři paprsky. Při přerušení některého z nich, stroj zastaví svůj pohyb a vyjede do referenčního bodu, aby se zabránilo úrazu. Nebezpečí především vzniká u tváření malých polotovaru, kde se prsty operátora nachází v těsné blízkosti razníku. Obrázek 38 demonstruje použití bezpečnostního systému AKAS.

Dalšími bezpečnostními prvky jsou například: kryty, koncové spínače, optické brány nebo bezpečnostní pedál.



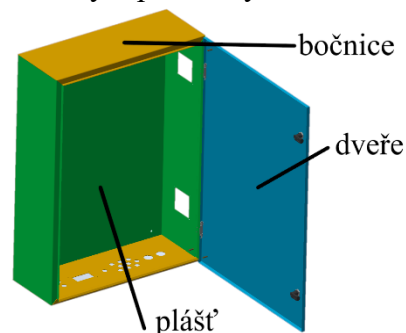
Obr. 38 Princip ochranného systému AKAS [47]

3 VÝROBA VZOROVÉHO VÝLISKU [49], [50]

Dále bude demonstrováno využití ohraňovacích lisů v praxi na příkladu výroby konkrétního výlisku – rozvaděčové skříň. V jednotlivých krocích bude popsán chronologický postup výroby, která byla realizována ve spolupráci s firmou Beta Control. Firma se zabývá vývojem a výrobou výtahů, které jsou provozovány především v České republice. Disponuje CNC ohraňovacím lisem od firmy Durma, který je zde nejčastěji používán na výrobu rámu kabiny a protiváhy, ale také na ohraňování rozvaděčových skříní.

Rozvaděčová skříň vyráběná firmou Beta Control se skládá z několika částí: plášť, bočnice a dveře. Jednotlivé prvky jsou zobrazeny na obr. 39. Skříň slouží pro bezpečné uskladnění výtahové elektroniky, která řídí celý proces.

Celá výroba a programování probíhala na CNC ohraňovacím lisu Durma AD-R 25100, který je zobrazen na obr. 40 a jeho základní parametry jsou popsány v tabulce 4.



Obr. 39 rozvaděčová skříň

Tab. 4 Technické údaje – Durma AD-R 25100 [49]

Parametr	Hodnota	Jednotky	Parametr	Hodnota	Jednotky
Ohybová síla	1000	[kN]	Zdvih	265	[mm]
Ohybová délka	2550	[mm]	Výkon motoru	11	[kW]
Rychlost přiblížení	180	[mm/s]	Objem olejové nádrže	150	[l]
Ohybová rychlost	10	[mm/s]	Hmotnost	8650	[kg]
Návratová rychlost	120	[mm/s]			



Obr. 40 Ohraňovací lis Durma AD-R 25100

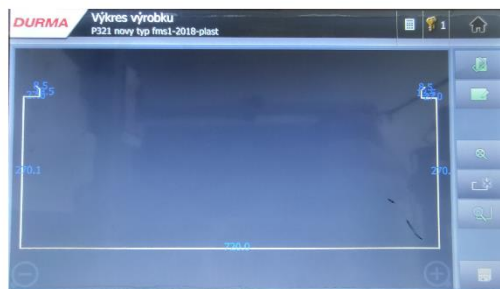
Popis postupu výroby pláště:

1. 3D model – prvním krokem je vždy samotný návrh, který je realizován podle vstupních požadavků. Konstruktor namodeluje součást a vytvoří výrobní dokumentaci, podle které probíhá další postup.
2. Výroba polotovaru – existuje mnoho metod, jak polotovar vyrobit. V tomto konkrétním případě je použita technologie řezání laserovým paprskem z tabule plechu, protože se jedná o kusovou výrobu.

3. Programování – dle schválené výrobní dokumentace je vytvořen program přímo na dotykovém panelu. Postup tvorby je nastíněn v následujících krocích:
 - V prvním kroku se v hlavním menu zvolí “nový výrobek“. Následuje volba materiálu, nástrojů, tloušťky polotovaru a délky ohybu. Jednotlivé parametry se wpisují pomocí dotykové klávesnice do tabulky, která je uvedena na obr. 41 a.
 - Následuje nákres výrobku (obr. 41 b), kde se uvádějí vnější rozměry jednotlivých rovných ramen rozvaděčové skříně.
 - Posledním krokem je tabulka pořadí ohybů (obr. 41 c), která se automaticky vypočítá. V některých případech je nutné provést korekci ručně, aby bylo možné výrobek ohnout a nedošlo k nárazu polotovaru do stroje. Při tvorbě programu bylo nutné upravit pořadí dvou ohybů. Konkrétně se jednalo o dlouhá boční ramena, která byla přesunuta na konec programu, aby bylo možné skříň ohnout.
 - Nyní je program hotový a je možné zobrazit grafický displej (obr. 41 d), na kterém jsou prezentovány jednotlivé ohyby a jejich postup.
4. Ohraňování – před samotným ohýbáním je nejprve nutné vyměnit nástroje, které byly zvoleny v prvním kroku programování. Jedná se o standartní matici s razníkem, které jsou popsány na obr. 42. Dále se nastaví bombírovací mechanismus, protože se jedná o dlouhý ohyb, kde by mohlo dojít k nerovnoměrnému úhlu ohybu. Hodnota se nastaví pomocí ruční páky umístěné na boku stolu. Protože stroj má řízenou pouze jednu osu dorazů, je nutné ručně přesunout dorazy tak, aby docházelo k dotyku s polotovarem v krajních polohách. Nyní je možné podle pořadí ohybů začít s ohraňováním. Polotovaz (obr. 43) se položí na předem připravené podpěry a lehce se opře o dorazy. Následuje sešlápnutí pedálu, po kterém nastane pohyb beranu. Důležitá je zvýšená pozornost během ohybu, kdy razník začíná vtlačovat polotovaz do matrice. Tím dojde k rychlému zvednutí konce polotovaru, které je znázorněno na obr. 45. Po dokončení první operace je důležité změřit skutečný úhel ohybu v několika polohách a provést případnou korekci úhlu a bombírování. Nyní je možné podle grafického displeje dokončit zbývající ohyby.
5. Kontrola – po skončení výroby je nutná rozměrová a úhlová kontrola hotového výrobku. Provádí se pomocí běžných měřidel (posuvné měřidlo, úhloměr, svinovací metr).

Číslo	321	Tloušťka	1.5	mm
Jméno	ovy typ fms1-2018-plas	Délka	997.0	mm
Přířez				
Materiál	Železo			
Horní nástroj	2 - 75/97			
Matrice	5 - 12ka- nova			
Rozměr	Vnější			
Délka rozvřtu	1338.7	mm		

a) parametry výrobku



b) nákres výrobku

S	Podpora	Ohyb	ČO	Akce
1	9	8	---	
2	9	7	---	
3	8	6	---	Návrat
4	0	1	---	Návrat + otočit
5	0	2	---	
6	1	3	---	Návrat
7	3	4	---	

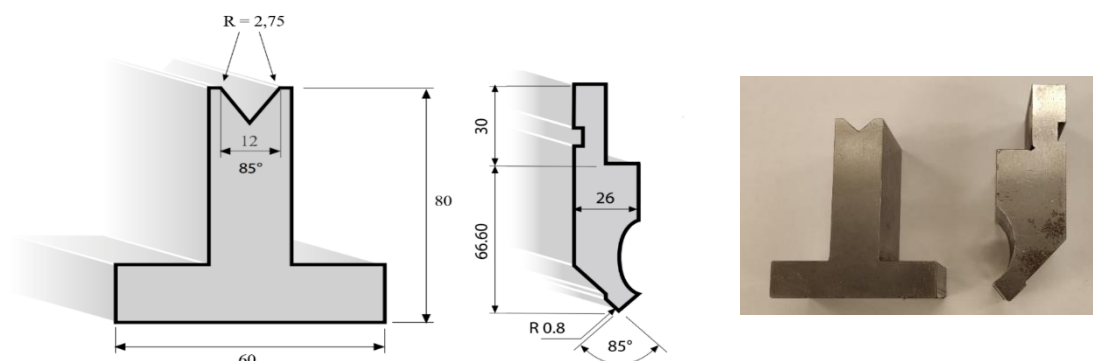
c) pořadí ohybů



d) znázornění ohybu

Obr. 41 Panel stroje

Pro ohraňování rozvaděčové skříně byly zvoleny nástroje, které popisuje obr. 42. Jak Matrice, tak i razník jsou vyrobeny z oceli C55 a jejich geometrie byla vybrána tak, aby nemohlo dojít ke kolizi mezi polotovarem a nástrojem.

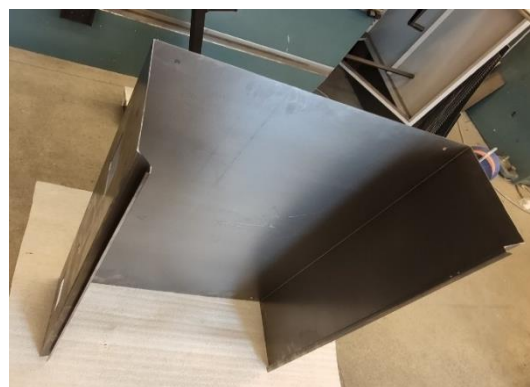


Obr. 42 Matrice a razník [50]

Polotovarem je výpalek z plechu o tloušťce 1,5 mm, který je vyroben z oceli 11 373. Rozvinutý tvar je nastíněn na obr. 43, který obsahuje dva otvory pro cirkulaci vzduch a další díry sloužící pro upevnění rozvaděčové skříně na stěnu. Po dokončení všech osmi ohybů se z plochého polotovaru stane trojrozměrný výrobek, který je zobrazen na obr. 44.



Obr. 44 Polotovary



Obr. 43 Hotový výrobek

4 ZÁVĚRY

Bakalářská práce byla zaměřena na možnosti výroby na ohraňovacích lisech. Cílem bylo vypracovat literární rešerši, u které byl podrobně popsán princip ohraňování, používané nástroje, stroje a jejich uplatnění ve strojírenské praxi.

První část bakalářské práce se zabírala obecnou teorií ohýbání, která je stejná pro obě technologie. Byly zde vysvětleny a popsány jednotlivé oblasti, jako například tvářecí síly, odpružení nebo technologické požadavky na konstrukci výlisků.

Druhá část bakalářské práce byla zaměřena na samotné ohraňování. Postupně byly probrány jednotlivé typy strojů a jejich konstrukce, nástroje a upínací systémy. U kterých byly vysvětleny výhody i nevýhody a také jejich použitelnost v kusové nebo sériové výrobě. Rovněž zde byly podrobně popsány speciální nástroje a doplňkové systémy, které zpřesňují práci a zvyšují efektivitu výroby. Jedná se například o laserové odměřování úhlu, které se stalo nezbytnou součástí moderních CNC ohraňovacích lisů.

Pro ucelení bakalářské práce byla v poslední kapitole nastíněna výroba vzorového výlisku, konkrétně rozvaděčové skříně. Navštívil jsem firmu Beta Control, kde byly ověřeny teoretické znalosti v praxi. Nejprve jsem se seznámil s CNC ohraňovacím lisem od společnosti Durma, na kterém jsem si vyzkoušel naprogramování, manipulaci i samotné ohýbání. Celý proces vyžadoval nejen znalosti a fyzickou zdatnost, ale také byl náročný z hlediska dodržení všech bezpečnostních předpisů.

V dnešní době se ohraňovací stroje stávají čím dál oblíbenějšími zařízeními ve strojírenských firmách. Důvodem je všestranné použití a vhodnost jak na kusovou, tak i na sériovou výrobu. Je možné se s nimi setkat hlavně v kombinaci s laserovým CNC strojem, který vyrábí rozvinuté tvary pro ohraňovací lis. Jednotlivé výpalky je možno ihned ohýbat a zkrátí se tak výrobní čas i celková cena výrobku.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [51]

- [1] *Ohraňování plechu* [online]. [cit. 2021-02-13]. Dostupné z: <https://www.ohranovaniplechu.cz/>
- [2] *Ohraňovací lis DURMA, AD-S* [online]. [cit. 2021-01-24]. Dostupné z: <https://www.formetal.cz/ohranovaci-lis-ad-s>
- [3] *Laser-ing* [online]. [cit. 2021-02-13]. Dostupné z: <http://www.laser-ing.hr/blog/10-savjeta-za-pravilno-savijanje-aluminija/attachment/savijanje-metal-a-primjer-002-2/>
- [4] DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. Vyd. 5., V Akademickém nakladatelství CERM 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-214-4747-9.
- [5] *Technologie plošného tváření - ohýbání* [online]. [cit. 2021-01-27]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/07.htm
- [6] ČADA, Radek. *Technologie tváření a slévarensství* [online]. První. Ostrava: Technická univerzita Ostrava, 2013 [cit. 2021-04-25]. ISBN 978-80-248-3015-5. Dostupné z: <https://1url.cz/hKJT9>
- [7] *MM Průmyslové spektrum* [online]. [cit. 2021-01-27]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-ohybani.html>
- [8] DVOŘÁK, Milan, Karel NOVOTNÝ a František GAJDOŠ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. ISBN 80-214-2340-4.
- [9] KRÍŽ, Rudolf a Pavel VÁVRA. *Strojírenská příručka: 24 oddílů v osmi svazcích*. Vyd. 1. Praha: Scientia, 1998. ISBN 80-7183-054-2.
- [10] BAČA, Jozef. *Technológia tvárnenia*. 1. vyd. Bratislava: Slovenská technická univerzita, 2000. Edícia skript. ISBN 80-227-1339-2.
- [11] TSCHATSCH, Heinz. *Metal forming practise: processes, machines, tools*. Vyd. 1. New York: Springer-Verlag, 2006. ISBN 978-3-540-33216-9.
- [12] LENFELD, Petr. *Technologie II*. Vyd. 2. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2009. ISBN 978-80-7372-466-5.
- [13] DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. Vyd. 3. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004, 242 s. ISBN 80-214-2683-7.
- [14] FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. První. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2006. ISBN 80-214-2374-9.
- [15] *Bending technology: Trumpf* [online]. První. Rakousko, 2016, 221 s. [cit. 26.04.2021]. Dostupné z: http://xn--80aqfjcpfdjemo.xn--p1ai/data/documents/TRUMPF_Specialnyi_gibochnyi_instrument_TRUMPF.pdf
- [16] Canmet. *Canmet* [online]. [cit. 2021-03-12]. Dostupné z: <https://www.canmet.eu/technologie/ohranovaci-lisy/safandarley-e-brake/>
- [17] Ruční ohraňovací lis. *JDC bend* [online]. [cit. 2021-03-19]. Dostupné z: <https://www.jdctool.com/portable-bender-bending-shearing-machine-for-thin-plate.html>
- [18] KOSAR, J. *Valivé vedení beranu*. Brno, 2017, 49 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství.

- [19] Schéma ohraňovacího lisu. *Harsle* [online]. 2018 [cit. 2021-03-19]. Dostupné z: <https://cs.harsle.com/TLA%C4%8C%C3%8DTKO-BRZDOV%C3%89HO-STROJE-id6482306.html>
- [20] Bombírování. *IPECON* [online]. Žilina, 2017 [cit. 2021-03-18]. Dostupné z: <https://ps.ipecon.sk/ohranovacie-lisy/co-je-bombirung-ako-pracuje/>
- [21] Doraz ohraňovacího lisu. *JMT* [online]. 2018 [cit. 2021-03-19]. Dostupné z: <http://jmtusa.com/press-brakes/>
- [22] Ohraňovací nástroje. *Toolscz* [online]. Jihlava [cit. 2021-03-20]. Dostupné z: <https://www.toolscz.cz/2021/03/15/ohranovaci-nastroje-pouzivane-materialy/>
- [23] ŠPINLEROVÁ, Marie. *Technologie*. Vyd. 1. Opava: Střední škola technická Opava, 2007, 83 s. Dostupné také z: <https://sst.opava.cz/technologie/technologie.pdf>
- [24] Materiálový list. *Htsteelmill* [online]. Shanghai [cit. 2021-03-20]. Dostupné z: <http://www.htsteelmill.com/>
- [25] Materiálový list. *Toolscz* [online]. Jihlava [cit. 2021-03-20]. Dostupné z: <https://www.toolscz.cz/2021/03/15/ohranovaci-nastroje-pouzivane-materialy/>
- [26] NOVOTNÝ, Karel. *Nástroje a přípravky, část I - tváření*. Vyd. 2. Brno: SNTL, 1985.
- [27] Yaming Nie, 2017, China TOP brand LEJIA press brake tool, YouTube video. [2021.03.20].
- [28] Ohraňovací nástroje. *UKB* [online]. Německo, 2019 [cit. 2021-04-26]. Dostupné z: <https://www.ukb-gmbh.de/es/>
- [29] Nástroje pro ohraňovací lis. *Sheet metal tooling* [online]. [cit. 2021-05-14]. Dostupné z: <https://www.sheetmetalttooling.co.nz/new-page>
- [30] Tool-clamping-punches-dies. *Gasparini* [online]. Itálie [cit. 2021-03-21]. Dostupné z: <https://www.gasparini.com/en/press-brakes/tool-clamping-punches-dies/>
- [31] Wila. *Press brake productivity quick start* [online]. Nizozemsko [cit. 2021-03-21]. Dostupné z: <https://www.wila.nl/images1/wila/data/pdf/Quickstart-how-to-get-started-GB-Df2-web-2020.pdf>
- [32] TRUMPF. In: *Katalog nástrojů* [online]. s. 263 [cit. 2021-03-20]. Dostupné z: https://www.trumpf.com/filestorage/TRUMPF_Master/Products/Services/01_brochures/TRUMPF-bending-tools-catalog-EN.pdf
- [33] Technologie lemování. *Shop metal tech* [online]. 2016 [cit. 2021-05-05]. Dostupné z: <https://shopmetaltech.com/fabricating-technology/hemming-technology.html>
- [34] Závětrná lišta. *Oplechovani* [online]. [cit. 2021-05-05]. Dostupné z: <https://www.oplechovani.cz/e-shop/klempirské-lemování/pozink/zavetrna-lista-rs-250-pozink-detail>
- [35] Roll-Bend. *Bend allowance* [online]. 2014 [cit. 2021-05-05]. Dostupné z: <http://bendallowance.com/wila-announces-line-rotabend-dies/>
- [36] Technický list uretanu. *Misumi* [online]. 2018 [cit. 2021-05-06]. Dostupné z: <https://us.misumi-ec.com/maker/misumi/mech/product/ur/detail/detail.html>
- [37] Tváření pryží. *Polyurethane Products* [online]. [cit. 2021-05-06]. Dostupné z: <https://www.polyprod.com/assets/files/podsht.pdf>

- [38] Uretanové nástroje. *The fabricator* [online]. 2020 [cit. 2021-05-06]. Dostupné z: <https://www.thefabricator.com/thefabricator/article/bending/how-to-bend-cosmetically-critical-parts-on-the-press-brake>
- [39] Uretanové nástroje. *Steelmetal* [online]. 2020 [cit. 2021-05-06]. Dostupné z: <http://sheetmetal.me/tooling-terminology/urethane-tooling/>
- [40] Speciální ohraňovací nástroje. *Uwe Krumm GmbH* [online]. 2019 [cit. 2021-05-07]. Dostupné z: <https://www.ukb-gmbh.de/es/produkty/ukb-specialni-ohranovaci-nastroje/nastroje-pro-u-profilu/>
- [41] Speciální matrice. *Arena industries* [online]. [cit. 2021-05-07]. Dostupné z: <http://bendingdie.com/products/special-bending-dies/>
- [42] KVASNIČKA, Rostislav. Přesné ohýbání plechu. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2010 [cit. 2021-05-09]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/presne-a-produktivni-ohybani-plechu>
- [43] Bistronic - Laserové odměřování úhlu. *Fabricatingand metalworking*. [online]. 2021 [cit. 2021-05-09]. Dostupné z: <https://www.fabricatingandmetalworking.com/2014/01/optical-bend-guiding-system-with-laser-angle-measurement/>
- [44] Laserové měření úhlu. *Harsle* [online]. 2020 [cit. 2021-05-09]. Dostupné z: <https://www.harsle.com/Lasercheck-bending-angle-measurement-for-CNC-Press-brake-id3828552.html>
- [45] KÖRBER, Vladimír a Jan ŠANOVEC. Aktivní měření úhlů při ohýbání. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2012 [cit. 2021-05-10]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/aktivni-mereni-uhlu-pri-ohybani>
- [46] Katalog ohraňovacích lisů. *Trumpf* [online]. [cit. 2021-05-10]. Dostupné z: https://www.trumpf.com/filestorage/TRUMPF_Master/Products/Machines_and_Systems/02_Brochures/TRUMPF-bending-machines-brochure-EN.pdf
- [47] Bezpečnostní systémy ohraňovacích lisů. *Manufacturing Solutions* [online]. [cit. 2021-05-10]. Dostupné z: http://mfg-sol.com/feissler_AKAS_II.html
- [48] Ochranné systémy. *Industrial machinery digest* [online]. 2020 [cit. 2021-05-10]. Dostupné z: <https://industrialmachinerydigest.com/industrial-news/columns/safety-maintenance/protective-systems-for-press-brake-applications/>
- [49] *Návod k použití - Durma AD-R 25100* [online]. [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: http://www.theartofpressbrake.com/wp-content/uploads/2019/01/AD-R_SERIES_USER%20MANUAL.pdf
- [50] Ohraňovací nástroje euram. *Formetal* [online]. [cit. 2021-05-14]. Dostupné z: <http://www.euram.it/download/catalog-euram.pdf>
- [51] *CITACE PRO* [online]. 2012 [cit. 2021-05-10]. Dostupné z: <https://www.citacepro.com/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
A_u	ohybové práce (U-ohyb)	[J]
A_v	ohybové práce (V-ohyb)	[J]
b	šířka polotovaru	[mm]
C	Caliho konstanta	[-]
E	modul pružnosti v tahu	[MPa]
f	součinitel tření	[-]
F_{ov}	ohybová síla (V-ohyb)	[N]
F_u	ohybová síla (U-ohyb)	[N]
F_v	ohybová síla (V-ohyb) dle ČSN 22 73 40	[N]
h_u	dráha ohybníku (U-ohyb)	[mm]
h_v	dráha ohybníku (V-ohyb)	[mm]
k	součinitel určující polohu neutrální plochy	[-]
k_1	koeficient průběhu síly (V-ohyb)	[-]
k_2	koeficient průběhu síly (U-ohyb)	[-]
L_c	délka rozvinutého tvaru	[mm]
L_o	délka oblouku neutrální plochy	[mm]
L_r	délka rovné části ramene	[mm]
l_u	součinitel určující polohu neutrální plochy	[-]
R_0	poloměr ohybu	[mm]
R_e	mez kluzu materiálu	[MPa]
R_m	mez pevnosti materiálu	[MPa]
R_{max}	maximální poloměr ohybu	[mm]
R_{min}	minimální poloměr ohybu	[mm]
t	tloušťka materiálu	[mm]
x	Součinitel posunutí neutrální osy	[mm]
x_a	vzdálenost neutrální plochy od osy průřezu	[mm]
α	úhel ohybu	[°]
β	velikost odpružení	[°]
ε_c	mezní prodloužení	[-]
ρ	poloměr neutrální osy	[mm]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Ohraňovací lis AD-S a ukázkové ohybky [2], [3].....	9
Obr. 2 Rozdělení technologie ohýbání [6].....	10
Obr. 3 Základní schémata ohybu [5]	10
Obr. 4 Průběh napětí při ohybu [8].....	11
Obr. 5 Schéma délky polotovaru	12
Obr. 6 Průběh ohybové síly [14]	14
Obr. 7 Odpružení materiálu [4]	15
Obr. 8 Nástroj pro výrobu prolisů [15]	16
Obr. 9 Minimální vzdálenost ramene a díry od místa ohybu [9].....	16
Obr. 10 Umístění polotovaru na pás plechu [5]	17
Obr. 11 Ruční ohraňovací lis [17]	18
Obr. 12 Ohraňovací lis, E-Brake HD Ultra [16]	18
Obr. 13 Ohraňovací lis, H-Brake HD Ultra [16]	19
Obr. 14 Popis ohraňovacího lisu [19].....	19
Obr. 15 Druhy rámců strojů [16].....	20
Obr. 16 Mechanické bombírování [20]	20
Obr. 17 Doraz s 6-ti stupni volnosti [21].....	21
Obr. 18 Ovládací panel.....	21
Obr. 19 Nástroje [29].....	21
Obr. 20 Dělený razník s upínáním amada-promecam [28]	22
Obr. 21 Typy upínání nástrojů [32]	23
Obr. 22 Rychloupínací adaptér toolever [30]	23
Obr. 23 Princip hydraulického upínání [31]	23
Obr. 24 Princip lemování [28].....	24
Obr. 25 Závětná lišta [34]	24
Obr. 26 Princip “Roll-Bend“ [35].....	25
Obr. 27 Porovnání běžné a “Roll-Bend“ matrice [15].....	25
Obr. 28 Typy výkyvných elementů a jejich použití [28].....	25
Obr. 29 Trojúhelníkové vložky [37].....	26
Obr. 30 Razník a matrice s polyuretanovou vložkou [38].....	26
Obr. 31 Nástroj s výkyvnými čelistmi [40]	27
Obr. 32 Nástroj pro “U-ohyb“ [40]	27
Obr. 33 Nástroje pro výrobu pantů [28]	27
Obr. 34 Schéma použití tvarové vložky [15].....	28
Obr. 35 Bystronic – laserové odměřování úhlu [42]	28
Obr. 36 Princip mechanické dotykové sondy [45]	29
Obr. 37 Dotyková sonda ACB [46]	29
Obr. 38 Princip ochranného systému AKAS [47]	30
Obr. 39 rozvaděčová skříň.....	31
Obr. 40 Ohraňovací lis Durma AD-R 25100.....	31
Obr. 41 Panel stroje	32
Obr. 42 Matrice a razník [50]	32
Obr. 44 Hotový výrobek.....	32
Obr. 43 Polotovar	32

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Součinitel posunutí osy [5].....	12
Tab. 2 Vlastnosti materiálu pro výrobu nástrojů [24], [25].....	22
Tab. 3 Typy a vlastnosti polyuretanových materiálů [36], [37].....	26
Tab. 4 Technické údaje – Durma AD-R 25100 [49].....	31